

Herstellung des Herzgefäßbaumes mit dem technischen Kunstharz Araldit

von

Hans Otto Mittelmeier

aus

Stuttgart

Aus der Chirurgischen Klinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. med. G. Hegemann

Herstellung des Herzgefäßbaumes mit dem technischen Kunstharz Araldit

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Hans Otto Mittelmeier

aus

Stuttgart

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg.



Dekan: Prof.Dr. G. Koch

Referent: Priv.-Doz. Dr. H. Dittrich

Korreferent: Prof.Dr. G. Hegemann

Tag der mündlichen Prüfung: 25.1.72

In Dankbarkeit
meinen Pflegeeltern
gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548617_0009

Inhaltsverzeichnis

I.	Einleitung und Fragestellung	1
II.	Möglichkeiten der Gefäßauffüllung	1
	Koronarangiographie und ihre	
	Leistungsfähigkeit	8
III.	Methodik	10
IV.	Anatomie der Herzkranzgefäße	23
	Normale Anatomie	24
	Versorgungsgebiete der beiden Kranz-	
	arterien	25
	Nomenklatur	27
	Verschiedene Verteilungstypen	30
	Varianten der Koronarverteilung	36
	Venensystem	38
V.	Anastomosen und Kollateralen	41
	Zusammenhang zwischen Anastomosen und	
	den einzelnen Versorgungstypen	46
	Anastomosen und Kollateralen bei	
	Koronarinsuffizienz	47
	Anpassung der koronaren Durchblutung	
	an strukturelle Veränderungen der	
	Gefäßwand	49
	Anastomosen und Kollateralen bei	
	Vineberg-Operation	56

Koronarchirurgie	57
Darstellung von Anastomosen zwischen der Arteria mammaria und den Koronar- ästen	64
VI. Zusammenfassung der Ergebnisse	75
VII. Photographien	77
VIII. Literaturverzeichnis	88
IX. Lebenslauf	

Herstellung des Herzgefäßbaumes mit dem technischen Kunstharz Araldit.

Durch die sprunghafte Zunahme der Coronarchirurgie sind objektive Darstellungsmethoden der normalen und pathologischen Anatomie der Coronararterien besonders wichtig. Der Diagnostiker und der Chirurg müssen ihre Ergebnisse ständig überprüfen.

I. Fragestellung

In der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, ob durch eine spezielle Gefäßausgießtechnik und in Kombination mit Korrosion oder Gewebsaufhellungstechnik topographisch exakt der Gefäßbaum und revaskularisierte Gebiete darstellbar sind.

II. Möglichkeiten der Gefäßauffüllung

Die Geschichte der Darstellung von Gefäßen, Hohlräumen und Gangsystemen geht weit zurück. In FALLERs Monographie "Die Entwicklung der makroskopisch-anatomischen Präparierkunst von Galen bis zur Neuzeit" wird berichtet, daß bereits LEONARDO DA VINCI (1452 - 1519)

Korrosionsmethoden zur Darstellung von Herzhöhlen und Hirnventrikeln bekannt waren. Als Injektionsmasse verwendete er Wachs. Sicher weiß man, daß DE GRAAF (1641 - 1693), RYSCH (1704) und LOWER (1728) sehr gute Injek-

tionspräparate gemacht haben. Es sind noch überlieferte Abbildungen dieser alten Präparate erhalten, die den hohen Stand der Injektionstechnik erkennen lassen.

Zur Darstellung von Gefäßen, die an der Oberfläche eines Organs verliefen, wurde wohl zuerst Luft und Wasser benutzt. GLISSON (1597 - 1677) verwendete Safranwasser, ein Farbstoff des Crocus. Tinte und Eisenvitriol waren weitere wässrige Farblösungen. Diese Technik der Gefäßinjektion diente vor allem zur Demonstration und Leitung der Präparation. Die injizierten Gefäße ließen sich leichter auffinden, freilegen und darstellen.

Früh war man jedoch mit wässrigen Lösungen oder Aufschwemmungen unzufrieden. Man suchte nach Stoffen von festerer Konsistenz, die beim weiteren Untersuchen der Gefäße und beim Durchtrennen der Gefäßäste nicht ausfließen konnten. Es wurde versucht, die bereits injizierte Masse nachträglich durch Behandlung mit Salzsäure und Alkohol so chemisch umzuwandeln, daß sie einen halbfesten oder gar festen Zustand annahmen. So waren es vor allem LAUTH (1835) und STRAUSS - DURKHEIM (1842), die mit gefärbtem Hühnereiweiß, das sie mit Alkohol zur Gerinnung brachten, zu den halbfesten und festen Injektionsmitteln überleiteten. TEICHMANN (1876) mit Guttapercha, PERNKOPF (1928) mit Dental rubber und Paragummi und BURT (1928) mit Latex, setzten die Reihe fort. AMENOMIYA (1910) mischte Farben mit Leim, MILLER (1906) gab Berliner Blau zu Gelatine, THAMM (1940) verwandte Deckweiß und Zinnober, ROSSI und DORDI (1951)

arbeiteten mit farbigem Agar, HINTZE (1931) versetzte Gummi arabicum mit Methylenblau.

Alle bisher genannten Injektionsmittel mußten vor Gebrauch noch angerichtet werden. Bald konnten neue Injektionsmittel in Form von Revertex und Jatex, beide auf Latexbasis, sowie das Plastilin, das im Wasserbad verflüssigt und mit Paraffinöl verdünnt werden mußte, käuflich im Handel erworben werden. Eine Sonderstellung nimmt die von PANSCH angegebene Masse. Diese besteht aus Mehl, Kaolin, Wasser, Alkohol und Kolophonium in einem bestimmten Mischungsverhältnis. In diese Reihe von Injektionsmitteln gehört auch die Teichmannsche Masse, die in ihrer Grundzusammensetzung vor allem Leinöl, Schlemmkreide und je nach gewünschter Farbe Zusätze wie Zinnober, Ultramarin oder Chromgelb erhält. Oft war man jedoch mit der Sichtbarkeit der injizierten Gefäße nicht ganz zufrieden, besonders wenn es sich um stark veränderte Gefäße handelte. Man bemalte die Gefäße zusätzlich mit derselben Farbe von außen.

Sehr früh wurden Metalle wie Blei, Woodsches Metall, das Blei, Wismut, Zinn und Kadmiun enthält, als Ausgußmasse verwendet.

Es folgten Zelloidin und Zelluloid. Etwa zur gleichen Zeit erschienen Präparate auf der Basis von Kunstharzen und als Abkömmlinge des Kautschuk auf dem Markt. SCHUMMER führte 1935 das Plastoid in die Korrosionsanatomie ein. Er beschreibt in seiner Arbeit "Ein neues Mittel und Verfahren zur Herstellung korrosionsanatomie-

scher Präparate", daß mit diesem neuen Korrosionsverfahren Gefäßinjektionen von solcher Vollkommenheit erzielt werden können, wie dies mit den bisherigen Methoden nicht möglich war. Der grundsätzliche Unterschied gegenüber allen bisherigen Methoden in der Korrosionstechnik besteht darin, daß als Injektionsmittel ein polymerisierbarer Kunststoff verwendet wird, der in monomerem Zustand dünnflüssig ist und nach Zusatz eines Katalysators durch kochen in zähflüssige Konsistenz übergeführt werden kann. Zur Injektion wird die visköse Zwischenform benutzt. Ein besonderer Vorteil des Plastoids liegt in seiner hohen Geschmeidigkeit und Gleitfähigkeit, durch die sich auch feinste Hohlräume füllen lassen, und in seiner nicht allzu starken Schrumpfung im erhärteten Zustand.

Wir sehen, daß eine große Anzahl verschiedenartiger Stoffe als Injektionsmassen verwendet, und zur Herstellung korrosionsanatomischer Präparate benutzt wurden. Aber auch die bekannteren und häufiger angewandten Materialien zeigen erhebliche Nachteile. Sie sind alle für anspruchsvollere Untersuchungen am Coronarsystem des Herzens nicht brauchbar. So läßt sich z. B. Zelloidin nicht in kleinste Gefäße injizieren. Die Präparate sind außerdem weich und müssen in Flüssigkeit aufgehängt oder in einem Plastikblock eingegossen, aufbewahrt werden. Weitere Stoffe wie Zelluloid und Plastoid schrumpfen zudem noch während des Härtungsvorganges und sind dabei äußerst brüchig. Die Schrumpfung

kann zwischen 30 und 40 % betragen. Dieser Schrumpfungsprozess während der Härtung führt fast immer zur Bildung von Vakuolen in den Ausgüssen. An diesen Stellen brechen natürlich nach der Mazeration Gefäßäste besonders leicht ab, zumal sie dann keinen Halt mehr durch das Herzmuskelgewebe haben. Ein Teil dieser Injektionsmassen läßt sich nur mit unphysiologisch hohen Drucken zwischen 400 und 500 mm Hg in die präkapillaren Gefäße einfüllen. Der von uns angewandte Druck liegt etwa um das vierfache niedriger.

Zur Herstellung aller unserer Korrosions- und Aufhellungspräparate bedienen wir uns einer neuen Injektionsmasse, dem technischen Gießharz Araldit. Durch dieses neue Mittel dürften alle älteren Verfahren überholt sein.

Technische Daten über den Kunststoff Araldit

Araldit D (CY 230) ist ein lösungsmittelfreies Gießharz auf Epoxydbasis. In Verbindung mit dem Härter (HY 956) stellt es die meistgebrauchte Araldit-Kombination dar. Das System eignet sich mit oder ohne Zusatzstoffe zur Herstellung von kleinen bis mittelgroßen Gießharzformen. Die Verarbeitung ist besonders einfach, da beide Produkte flüssig sind und eine günstige Viskosität aufweisen. Zum Einfärben der Gießharzmassen werden die Farbpasten Araldit DW 01 bis DW 010 verwendet.

Das Harz wird mit dem Härter im Verhältnis 5 : 1 bei Raumtemperatur gründlich vermischt und härtet unter leichter Wärmebildung aus. Die Mischung hat bei

20 - 30 ° C eine Viskosität von 1300 - 1800 cP. Für die Auswahl des Harzes ist entscheidend, daß es dünnflüssig genug sein muß um unter physiologischem Druck bis in die Arteriolen und Präkapillaren vorzudringen. Unser Gemisch erfüllt diese Bedingungen. Kunstharz, Härter und Farbpasten werden von der Firma Ciba-AG, Basel, hergestellt.

Es stehen noch eine Reihe von anderen Aralditarten mit unterschiedlicher Viskosität zur Verfügung.

Dieses Material zeichnet sich durch leichte Zubereitung, geringe Schrumpfung während des Härtungsvorganges und günstige Viskosität aus. Es gelingt mit der Injektionsflüssigkeit bis in die Präkapillaren vorzudringen. Ein Übertreten in das venöse System wird nicht beobachtet. Somit ist es also möglich, eine vollständige und getrennte Darstellung des arteriellen und venösen Gefäßsystems zu erhalten.

Verschiedene Möglichkeiten mit dem technischen Kunstharz ARALDIT die Herzkranzgefäße darzustellen.

a. Korrosionspräparate

Reine arterielle Füllung (rot);
 Arterielle und venöse Füllung (rot/blau);
 Füllung des arteriellen Systems (rot) und der Arteria mammaria interna (schwarz) bei einem Hundeherz nach einer VINEBERG-Operation (Versuch, revaskularisierte Gebiete nachzuweisen);

Rein arterielle Füllung mit Setzen eines experimentellen Myocardinfarkts und Darstellung des ausgefallenen Areals.

b. Aufhellungspräparate

Rein arterielle Füllung (rot);
 Arterielle und venöse Füllung (rot/blau);
 Arterielle Füllung mit zwei verschiedenen Farben, rechte Koronararterie grün, linke rot;
 Arterielle Füllung, anschließend Herzschnitt zur Darstellung des Septums;
 Darstellung von Vorhofanastomosen

Durch die Kombination Korrosion und Aufhellung und die genannten zusätzlich ausgeführten Techniken gelang es uns, an den Präparaten folgendes zur Darstellung zu bringen und photographisch festzuhalten.

- a. Kollateralen- und Anastomosenbildungen bei einem hochgradig atherosklerotischen Herzen (Abb. 29 - 32)
- b. Anastomosenfelder im Bereich des Conus pulmonalis (Abb. 23, 24, 28)
- c. Anastomosenfelder zwischen dem Ramus descendens anterior und diagonalis (Abb. 38)
- d. Anastomosen zwischen den Ästen des Ramus circumflexus und descendens der linken Kranzarterie.
- e. Anastomosenfelder an den Herzohren und Herzvorhöfen
- f. Anastomosen im Herzspitzenbereich (Abb. 37)

- g. Anastomosen im Septumbereich (Abb. 27, 33)
- h. Anastomose zwischen der rechten und linken Herzkranzarterie (Abb. 39)
- i. Kollateralenbildung zwischen Arteria mammaria interna und Myocard (VINEBERG) (Abb. 20, 21)
- j. Venenanastomosen (Abb. 33, 36)
- k. Verschiedene Koronarvarianten (Abb. 22, 34, 35, 38)

Koronarangiographie und ihre Leistungsfähigkeit

Der in vivo durchgeführten Koronarangiographie sind durch technische Faktoren, wie Objektdichte, Bewegungsgeschwindigkeit des schlagenden Herzens, Wärmeentwicklung der Röntgenröhre und störende Streustrahlung, in der Darstellung der Gefäße Grenzen gesetzt. Für die noch einwandfrei darstellbaren Gefäße wird auch bei optimaler Technik eine untere Grenze zwischen 250 - 500 mü angegeben (S. PAULIN). Die Koronarangiographie am lebenden Menschen ist deshalb hauptsächlich auf die Darstellung von Veränderungen der größeren, meist subepicardial gelegenen Koronararterien beschränkt, während die der kleineren, vorzugsweise intramural gelegenen Arterien nur mit geringer Sicherheit oder überhaupt nicht erfaßt werden können.

Wenn man das Gefäßsystem in seiner Gesamtheit beurteilen will und Stenosen, Verschlüsse und Anastomosen lokalisieren will, dann bietet die postmortale Angiographie der Koronararterien einen großen Vorteil.

JAMIN und MERKEL (1907) haben ausgiebig postmortal-angiographisch gearbeitet. Auch CRAINICIANU (1922) hat einen wesentlichen Teil seiner Arbeit über anatomische Studien der Koronargefäße auf angiographische Befunde gestützt. Es wurden verschiedenartige Kontrastmittel benutzt. BARMEYER (1970) empfiehlt ein Gemisch aus 60 g Bariumsulfat, 4 g Gelatine in 100 ml Wasser. Wegen seiner Partikelgröße werden nur die Arterien bis zu einer Kaliberstärke von etwa 50 μ gefüllt. Das Kontrastmittel wird warm infundiert und wird bei 15° C fest. Dieser Effekt erlaubt es, das Herz zu eröffnen ohne daß Kontrastmittel aus den Gefäßen ausfließt. Alle angiographischen Bilder, sei es in vivo oder in vitro, erfordern große Erfahrung in der Beurteilung. Das gilt besonders für das Erkennen kleiner und kleinster Gefäße wie Anastomosen und Kollateralen. Oft werden sich kreuzende Äste mit Anastomosen und Kollateralen verwechselt.

III. Methodik

1. Sektionstechnik und Zurichtung zur Füllung

Zur Herstellung von Korrosions- und Aufhellungspräparaten des Koronarsystems standen uns post mortem Herzen von Mensch und Hund zur Verfügung.

Die Herzen werden möglichst bald nach dem Tode entnommen, mit physiologischer Kochsalz- oder Ringerlösung ausgespült und von Blutresten befreit. Die Herzen werden 24 Stunden in physiologischer Kochsalzlösung bei Zimmertemperatur aufbewahrt, um die Totenstarre mit Sicherheit zu lösen. Ein weiteres Aufbewahren von zwei bis drei Tagen im Eisschrank hat sich als günstig erwiesen. Kleine Blutgerinsel, die sich manuell nicht beseitigen lassen, werden durch die längere Berührung mit der Kochsalzlösung verflüssigt. Vor der Füllung ist ein kurzes Ausstreifen der Gefäße von der Spitze zur Basis angebracht, um Blutreste besonders im Bereich der Ostien zu beseitigen. So wird vermieden, daß der vordringenden Injektionsmasse der Weg in die Peripherie verlegt wird oder daß Blutreste vor der Injektionsmasse hergeschoben werden, und den Zugang zu kleineren Ästen versperren.

Bei der Entnahme der Herzen ist darauf zu achten, daß mindestens ein Aortenstumpf von 4 cm über der Klappenebene erhalten bleibt. Alles sichtbare Fett- und Bindegewebe wird abpräpariert. Die Arteria pulmonalis wird

von der Aorta abgelöst um später beim Einbinden des Katheters freien Zugang zur Aorta zu bekommen. Das Ablösen sollte möglichst stumpf und mit größter Vorsicht geschehen, da die Aorta leicht verletzlich ist und kleine Beschädigungen nachher bei der Füllung aufbrechen können. Das Organ wird gewogen. Mittels Klemmen und Fäden wird es am freien Rand der Aorta an einem Stativ aufgehängt.

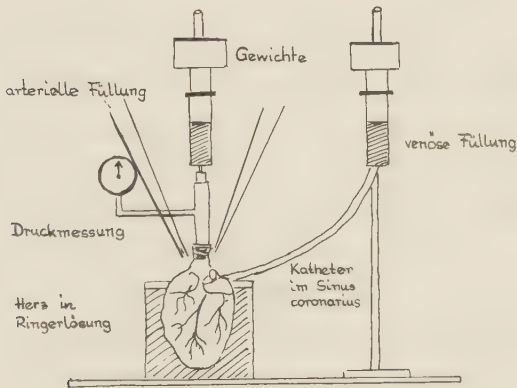


Abb. 1

Bei der Herstellung von Gefäßmodellen des Koronarsystems haben wir uns weitgehend an die Methodik von SCHMIDT und SCHMIER (1965) gehalten.

Da die rechte und linke Kranzarterie keinen gemeinsamen Ursprung aus der Aorta haben, kann das Gefäßsystem nicht ohne weiteres durch Einbinden eines Katheters in die Aorta gefüllt werden. Es hätte zur Folge, daß die Injektionsmasse erst nach Anfüllung des linken Ventrikels und linken Vorhofs in die Koronarien einfließt. Auf diese Weise ist eine voll-

ständige Darstellung der Kranzgefäße nicht möglich, da der Druck in den Hohlräumen während der Injektion stärker ist als in den Endstrecken der Koronarien. Die kleinen Gefäßäste werden im Herzmuskel von innen her komprimiert. Außerdem würde die Deformierung des Organs durch die Füllmasse die anatomischen Gegebenheiten nicht naturgemäß wiedergeben und die Injektionsmasse selbst die nachträgliche Beurteilung der Gefäßausgänge behindern.

Eine bisher übliche Methode ist das Einführen von dünnen Kunststoffkathetern in beide Ostien von der Aorta her und Fixation von außen her durch Ligatur. Hier stößt man jedoch bei der linken Koronararterie manchmal auf Schwierigkeiten, da die Teilungsstelle des Ramus descendens und circumflexus sehr nahe am Abgang aus der Aorta liegen kann. Beim Vorschieben des Kunststoffkatheters besteht die Gefahr, daß diese Teilungsstelle überschritten und damit nur einer der beiden Äste gefüllt wird. Diese Methode ist zwar oft wertvoll, wenn man beide Herzkranzgefäße mit zwei verschiedenen Farben getrennt darstellen will, um sie nachher besser beurteilen zu können. Immer aber besteht das Gefäßsystem nach Korrosion des Herzmuskelgewebes aus zwei getrennten Teilen, was besonders bei Untersuchungen des gesamten Koronarsystems ungünstig ist. Beim Aufhellungsverfahren, bei dem das Gefäßsystem durch das Organgewebe noch zusammengehalten wird, ist diese Methode der getrennten Füllung durchaus geeignet.

Der Versuch, die Herzkranzgefäße an ihrem Abgang aus der Aorta so weit freizupräparieren, daß man eine Ligatur unterhalb der Ostien, direkt über den Aortenklappen anbringen kann, hat sich ebenfalls als nicht durchführbar erwiesen. Die Ostien werden in ihrem Lumen zu sehr verzogen und eingeengt, so daß eine einwandfreie Füllung nicht gewährleistet ist.

Erst die Anwendung von geeigneten Gewebeklebstoffen machte es möglich, die Aortenklappen gut zu verschließen. Der von uns angewandte Klebstoff Histoacryl eignet sich besonders gut für die postmortale Verklebung der Aortenklappen. Die Klappen werden vorher mit Stieltupfern getrocknet. Mittels einer Kunststoffampulle mit 6 cm langem Schnabel können die Aortenklappen mit dem Klebstoff bestrichen werden.

Der Gewebekleber Histoacryl ist der n-Butylester aus der Reihe der alpha-Cyanoacrylsäureester. Die Verbindung, die in den Kunststoffröhrchen in monomerer Form vorliegt, polymerisiert in Gegenwart kleinster Mengen von Wasser, bzw. Gewebeflüssigkeit in kürzester Zeit zu einem festen Stoff. Der Gewebekleber enthält einen Farbstoffzusatz, der es ermöglicht, die aufgetragene Schichtdicke zu beurteilen, sowie bestrichene Stellen von nicht bestrichenen besser zu unterscheiden. Nach richtiger Adaption werden dann die Gewebeteile 1 - 2 Minuten aneinander gedrückt. Somit ist eine ausreichende Verklebung gewährleistet. Gute Adaption der Aortenklappen ist wichtig, da nach der Polymerisation

nicht mehr korrigiert werden kann. Am besten werden die Klappenränder in drei Abschnitten jeweils vom seitlichen Klappenursprung bis zur Mitte verklebt, und auch in derselben Reihenfolge durch leichten Druck aneinander gepreßt. Dies vermeidet jegliche Faltenbildung an den Klappenrändern und ein Aufbrechen bei Druckeinwirkung.

In den Aortenstumpf wird ein Katheter passender Größe eingeführt und außen mit mehreren Ligaturen befestigt. Durch Auffüllen des Katheters mit Ringerlösung können die Klappen auf ihre Dichtheit geprüft werden. Bleibt der Flüssigkeitsspiegel stehen oder senkt sich nur langsam durch Abfließen in die Koronarien, sind die Klappen geschlossen. Durch zusätzliches Ausstreichen der Kranzgefäße kann vorhandene Luft entweichen. Das am Stativ hängende Herz wird in ein Gefäß mit Ringerlösung ganz eingetaucht und während des Füllvorganges darin belassen. Das hat den Vorteil, daß die physiologischen Eigenschaften weitgehend erhalten bleiben. Außerdem wird der Härtungsvorgang der Injektionsmasse dadurch verlangsamt.

2. Füllungsvorgang

Das Durchspülen beider Kranzarterien mit Glycerin mittels einer Kanüle in beide Ostien führt zu einer besseren Füllung, besonders der kleinen Äste. Vorhandene Blutgerinsel werden dadurch beseitigt. Als Injektionsmasse diente uns das technische Gieß-

harz Araldit (siehe "Möglichkeiten der Gefäßauffüllung"). Die Injektion erfolgt am besten mit der handelsüblichen Rekordspritze, deren Volumen von der zu injizierenden Organgröße abhängt. Da wir mit Herzen unterschiedlicher Größe arbeiteten, hat sich eine 20 ml Spritze bewährt. Dieses Volumen war für alle Organgrößen ausreichend. Das Nachfüllen in die Injektionspritze ist zu vermeiden, da die Druckverhältnisse beim Herausziehen des Spritzenstempels zu sehr abfallen würden, was ein Zurückströmen des bereits injizierten Gefäßmaterials zur Folge hätte. Der eingebundene Katheter soll dem Aortenlumen entsprechen. Die Katheterwandstärke darf nicht zu dünn gewählt werden, um einen Verschuß beim Einbinden zu vermeiden. Spritzenkonus und Katheterlumen müssen aufeinander abgestimmt sein.

Die Injektion erfolgt bei fixiertem Organ und eingespannter Injektionsspritze mit definierten Drucken. Der Spritzenstempel wird mit Gewichten belastet, die einem physiologischen Druck von ca. 110 - 130 mm Hg entsprechen. Dieser effektive Injektionsdruck läßt sich durch ein seitenständiges Anschließen eines Quecksilbermanometers bei verschiedener Belastung bestimmen. Ein bestimmtes Gewicht auf dem Spritzenstempel entspricht dann einem angezeigten Druck am Quecksilbermanometer. Durch den Druck von 110 - 130 mm Hg ist eine gleichmäßige und weitgehende Füllung des Koronarsystems gewährleistet. Es wird vermieden, daß die verklebten Klappen während der Injektion aufbrechen. Dies ist bei wenig Übung und ohne Druckkontrolle des

öfteren der Fall.

Das Füllungsvolumen entspricht der Größe des Organs. Einen Anhaltspunkt gibt uns das Herzgewicht. Bei einem Herzgewicht bis 400 g kommt man mit einer Injektionsmasse von ca. 15 ml aus. Zur Füllung des Koronarsystems selbst genügen nur wenige ml Injektionsmasse. Ein Großteil davon füllt den Aortenkonus aus.

Die Zeitdauer für eine vollständige Füllung des arteriellen Systems beträgt 10 - 15 Minuten. Die Füllung ist dann beendet, wenn die Injektionsmasse gleichmäßig durch das Pericard schimmert. Es soll nochmals betont werden, daß das verwandte Kunstharz nur bis zu den Präkapillaren vordringt und nie durch die Kapillaren fließt. Eine Füllung des Venensystems wird man nicht beobachten können. Bei zu hohen Drucken und bei zu alten Herzen kann durch Platzen kleiner Gefäße Injektionsmasse in den subepicardialen Raum austreten. Man bekommt dann zwar eine fast parenchymatöse Darstellung des Organs, die jedoch für die Beurteilung wegen der Dichte unbrauchbar ist.

Am Ende der Füllung wird der Aortenkatheter abgeklemmt, Spritze und Vorrichtung für Druckkontrolle werden abgenommen. Das Organ wird zur Härtung aus der Ringerlösung in eine 10 %ige Formaldehydlösung gelegt. Bei unserem verwendeten Gießharz mit dem Härter HY 956 ist die Härtung bei 45°C in 1 - 2 Tagen sicher erreicht. Durch vorsichtigen Fingerdruck auf ein mittelgroßes Gefäß kann man sich über den Stand der Härtung infor-

mieren. Bei ungenügender Härte wird das Organ nochmals über Nacht in der Formaldehydlösung belassen. Der gesamte Gefäßbaum würde bei der anschließenden Mazeration durch den zähflüssigen Zustand keine naturgetreue Nachbildung abgeben.

3. Mazeration

Maziert wird in 35 %iger Kalilauge bei 45° C. Es ist darauf zu achten, daß das Organ von der Kalilauge ganz bedeckt wird und darin frei beweglich schwimmt, um eine Deformierung der Gefäße zu vermeiden. Die Mazeration ist je nach Größe des Organs nach 2 - 3 Tagen abgeschlossen. Damit das bereits abgelöste Material beseitigt wird und die Kalilauge intensiver auf das restliche Gewebe einwirken kann, sollte die Flüssigkeit öfters gewechselt werden.

Ist die Mazeration beendet, werden die Ausgußpräparate vorsichtig aus der Lauge gehoben und in ein vorbereitetes Gefäß mit klarem Wasser eingetaucht. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt. Noch anhaftendes Material wird mit einem feinen Pinsel abgelöst. Verseiftes Fett, das besonders an den großen Gefäßen in Aortennähe und zwischen den feinen Kapillaren haftet, verschwindet durch Aufbewahren des Präparates in destilliertem Wasser in wenigen Stunden.

Die Präparate werden an der Luft getrocknet und anschließend mit Sprühlack behandelt. Die Ausgüsse sind widerstandsfähig.

Gleichzeitige Füllung des arteriellen und venösen Systems

Möchte man zu den Arterien auch die abführenden Venen darstellen, so bindet man eine Kunststoffkanüle mit geeignetem Durchmesser in den Sinus coronarius ein und injiziert die blau angefärbte Masse. Es ist darauf zu achten, daß die Kanüle nicht zu weit im Sinus coronarius vorgeschoben wird, damit den einmündenden Venen (Vena cordis media) nicht der Weg verlegt wird. Bei Füllung beider Systeme zogen wir es vor, das arterielle zuerst zu füllen, da hier größere Schwierigkeiten auftreten. Sitzt die eingebundene Kanüle dicht und fest im Sinus coronarius, ist die venöse Füllung leicht durchzuführen. Es wird in der Regel mit etwas niedrigerem Druck als bei der arteriellen Füllung injiziert. Nach 5 Minuten ist die Füllung abgeschlossen.

Druckverhältnisse beim Füllvorgang in Bezug auf die Gefäßstärke

Bei unseren Versuchen stellten wir fest, daß die Injektionsmasse bei unterschiedlichem Druck verschieden weit in die Peripherie der Gefäße vordringt. Je nach Bedarf ist es also möglich, Äste mit verschiedenen Stärken darzustellen. Die Gefäße wurden nach der Mazeration mittels einer Mikrometerschraube gemessen.

130 mm Hg	-	ca. 50 - 80 mü
100 mm Hg	-	ca. 80 - 100 mü
80 mm Hg	-	ca. 150 - 200 mü

4. Die Herstellung von Aufhellungspräparaten

Es wird prinzipiell genauso vorgegangen, wie bei der Herstellung von Korrosionspräparaten. Sektionstechnik, Aufbewahrung, Vorbereitung zur Füllung und Fülltechnik sind die gleichen Vorgänge. Für den weiteren Fortgang der Methode ist es schwierig, allgemein gültige Richtlinien zu geben. Selbst SPALTEHOLZ und LUNDVALL, die sich bei der Ausarbeitung dieses Verfahrens besonders verdient gemacht haben, weichen in der Behandlung der Präparate und in der Wahl der Lösungen oft grundlegend voneinander ab. Trotz der Abweichungen erzielten beide gute Ergebnisse.

Die hier beschriebene Methode zur Herstellung durchsichtiger oder durchscheinender makroskopischer menschlicher und tierischer Präparate, ist wohl die zur Zeit brauchbarste und entstammt im wesentlichen den Angaben von SPALTEHOLZ (1911). Sie beruht darauf, daß die Hauptmasse der Gewebe eines Körpers (in diesem Fall das Herz) vollständig unversehrt bleibt und die gewünschte Wirkung allein durch Anwendung der Gesetze der Optik erreicht wird. Es handelt sich also hier um ein rein physikalisches Verfahren. SPALTEHOLZ hat durch Erfahrung festgestellt, daß dünnere Gewebsschichten in gewissen Ölen, z. B. Nelkenöl und Harzlösungen, wie Kanadabalsam, außerordentlich durchsichtig werden und die einzelnen Gewebsschichten dennoch mehr oder weniger deutlich erkennbar bleiben. Man wußte zwar lange, daß

dünne Gewebsschichten in Substanzen von niedrigerem Index, z. B. Glycerin ($n_D = 1,456$) eine geringere Durchsichtigkeit zeigen, als in solchen von höherem Index, z. B. Nelkenöl ($n_D = 1,533$) und daß die Durchsichtigkeit proportional dem Index steigt. Untersuchungen haben ergeben, daß zwar die verschiedenen Gewebsteile eines tierischen oder auch pflanzlichen Körpers verschiedene Brechungsindices haben, die nicht unbeträchtlich voneinander verschieden sein können, daß aber doch für jedes Gewebe, jedes Organ und sogar für jeden Körper ein Mittelwert des Index existiert. Ein tierischer oder pflanzlicher Körper reflektiert dann am wenigsten Licht und erreicht die größtmögliche Durchsichtigkeit, wenn er von einer Substanz durchtränkt oder umgeben ist, deren Brechungsindex des mittleren Brechungsindex gleich ist. Für erwachsene menschliche entkalkte Knochen liegt das Optimum der Durchsichtigkeit bei einem Brechungsindex $n_D = 1,547$. Dies entspricht mit hinreichender Genauigkeit einer Mischung aus

5 Gewichtsteilen Wintergrünöl und

3 Gewichtsteilen Benzylbenzoat.

Da für andere Organe noch keine genauen Zahlen vorliegen, geht man von diesem Mischungsverhältnis aus und fügt dann, je nach Bedarf Wintergrünöl oder Benzylbenzoat hinzu.

Nachdem das Herz mit dem Kunststoff gefüllt ist, wird es nach folgendem Verfahren aufgeheilt:

1. Fixieren des Organs in 5 %igem Formalin
2. Bleichen in 3 %igem Wasserstoffsuperoxyd
(2 Tage)
3. Einige Stunden wässern
4. Weiterhin entwässern in steigender Alkoholreihe (je 1 Tag in 50 %, 70 %, 96 %, 100 %)
5. Übertragen in Benzol (mehrmals wechseln)
6. Einlegen in die Endflüssigkeit
(Mischung: Wintergrünöl/Benzylbenzoat)

Durch Benzol kann bereits eine erhebliche Aufhellung erreicht werden, diese Beobachtungen konnten wir auch im Zusammenhang mit reinem Glycerin machen.

Gegenüberstellung von Korrosions- und Aufhellungsmethode

Die wichtigsten Kriterien dieser beiden Methoden sollen herausgehoben und besprochen werden.

Korrosionspräparate

Prinzip: Darstellung von Gefäßsystemen und Hohlräumen verschiedener Organe durch Injektion mit verhärtenden, verschieden färbbaren Massen mit darauffolgender Entfernung (Korrosion) des umgebenden Gewebes durch Laugen oder Säuren.

Aufhellungspräparate

Prinzip: Rein physikalisches Verfahren, das sich die Gesetze der Optik zu Nutze macht. Ein tierischer oder

pflanzlicher Körper wird von einer Substanz durchtränkt und umgeben, deren Brechungsindex dem mittleren Brechungsindex des Körpers gleich ist. Wenn dieses Postulat maximal erfüllt ist, reflektiert dieser Körper am wenigsten Licht und erreicht seine größtmögliche Durchsichtigkeit.

Korrosionspräparate

Herstellungsdauer

ca. 5 Tage

Darstellung des Gefäßbaumes

Zusammenhang muß gewahrt werden, da umgebendes Gewebe fehlt;

re. und li. Kranzarterie deshalb nur einfarbig;

bei Mazeration brechen kleinste Gefäße leicht ab; großkalibrige Anastomosen und Kollateralen (ca. 100 µm); Gesamter Gefäßbaum;

gutes dreidimensionales Bild;

Aufhellungspräparate

Herstellungsdauer

ca. 2 - 3 Wochen

Darstellung des Gefäßbaumes

Zusammenhang ist durch umgebendes Gewebe gegeben;

re. und li. Kranzarterie verschiedenfarbig möglich, durch getrenntes Eingehen in die Ostien;

keine Mazeration, kleinste Gefäße bleiben erhalten; kleinkalibrige Anastomosen und Kollateralen (ca. 50 µm); Gesamter Gefäßbaum, einzelne Herzscheiben (z. B. Septumversorgung);

gute Darstellung der oberflächlichen Gefäße, bis ca. 1 cm Tiefe;

Topographie fehlt;

Topographie erhalten;

Beschaffenheit des Organs

nicht entscheidend;

Beschaffenheit des Organs

Größe und Alter sind für den Erfolg entscheidend, kleine und junge Herzen am brauchbarsten;

Aufbewahrung

Sprühlack, trocken;
zerbrechlich;

Aufbewahrung

in der Endflüssigkeit,
verschlossen; geschützt;

Fotographie

viele Möglichkeiten;

Fotographie

nicht so günstig, da Organ immer in Flüssigkeit bleiben muß;

Der eigentliche Grund, unsere Versuchsreihe mit Korrosionspräparaten noch durch Aufhellungspräparate zu erweitern, war die oft mangelnde Darstellung feinsten Gefäße. Da es uns besonders auf Anastomosen und Kollateralen ankam, glaubten wir, in diesem Verfahren eine Bereicherung der Arbeit zu finden. An einzelnen menschlichen Herzen gelang es uns, diese kleinen Gefäße darzustellen.

IV. Anatomie der Herzkranzgefäße

Hier soll auf die normale Anatomie, die Versorgungsgebiete, die Versorgungstypen und die Nomenklatur der

Herzkranzgefäße eingegangen werden.

1. Normale Anatomie

Die arterielle Versorgung des Herzens erfolgt durch zwei Arterien, die ersten Äste aus der Aorta. Als Arteriae coronariae entspringen sie in den Sinus Valsalvae der beiden vorderen Taschenklappen der Aorta und verlaufen als rechte und linke Kranzarterie im Sulcus coronarius.

Die Arteria coronaria sinistra (Abb. 22, 23)

Sie besitzt in der Regel einen etwa 5 - 10 mm langen Stamm mit einem Durchmesser von etwa 3 - 5 mm und ist zwischen linkem Herzhohr und Truncus pulmonalis locker in das Epicard eingebettet. Nach Erreichen der Facies sternocostalis teilt sie sich in einen Ramus circumflexus, der in der Kranzfurche zur Hinterfläche des Herzens zieht und in einen Ramus interventricularis anterior, der in der vorderen Längsfurche in Richtung Herzspitze zieht. Rechts der Herzspitze biegt er in der Incisura cardiaca zur Facies diaphragmatica um, wo er mit der rechten Kranzarterie anastomosieren kann. Der Ramus circumflexus gibt auf seinem Weg kleine Äste zum linken Vorhof ab und stärkere Gefäße zur seitlichen und dorsalen Wand des linken Ventrikels. Vom Ramus interventricularis anterior gehen Äste für die Versorgung des Conus arteriosus und hauptsächlich für die Vorderwand des linken Ventrikels ab. Kleine Ästchen senken sich fast rechtwinklig davon in die

Tiefe und versorgen das Septum interventriculare.

Die Arteria coronaria dextra (Abb. 24, 25)

Ihr Anfangsstück von etwa 5 - 7 cm liegt unter dem rechten Herzohr versteckt. Der weitere Verlauf geht in der Kranzfurche zur Hinterfläche des Herzens, um im Sulcus coronarius den Ramus interventricularis posterior zur Incisura cordis abzugeben. Ein kurzes Arterienstück setzt die Kranzarterie noch im Sulcus coronarius fort. Die rechte Kranzarterie gibt nach oben zarte Äste zum rechten Vorhof, nach unten zur Wand des rechten Ventrikels, nach unten links zum linken Ventrikel ab. Aus dem Ramus interventricularis posterior gehen wie beim Ramus interventricularis anterior Äste zum Septum interventriculare ab.

2. Versorgungsgebiete der beiden Kranzarterien

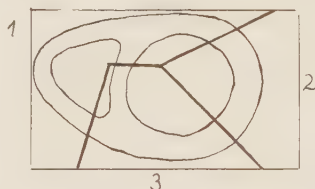
Die Ernährungsbereiche des Myocards kann man genauer ermitteln, wenn man die Gefäße mit verschieden gefärbten Injektionsmassen anfüllt und das ganze Herz aufhellt, den Verlauf der Arterien präparatorisch verfolgt, Korrosionspräparate herstellt oder Röntgenarteriogramme studiert. Untersuchungen von TANDLER (1923), SPALTEHOLZ (1921), CRAINICIANU (1923), MÜLLER - MOHNSSEN (1957) und OGNEW mit Mitarb. (1958) haben übereinstimmend gezeigt, daß die Arteria coronaria dextra den größten Teil des rechten Vorhof und Ventrikels sowie den Conus arteriosus, die dorsale Hälfte des Septum interventriculare und einen recht beträcht-

lichen Anteil der Hinterwand des linken Ventrikels einschließlich ihres medialen Papillarmuskels ernährt. Die Arteria 'coronaria sinistra versorgt die ventrale und laterale Seite des linken Ventrikels und einen kleinen Anteil der septumnahen ventralen Wand des rechten Ventrikels, sowie etwa zwei Drittel von der vorderen Hälfte des Septum interventriculare. Außerdem erreichen ihre Äste den großen Papillarmuskel im rechten Ventrikel.

Ernährungsgebiete des Myocards

Querschnitte durch die beiden Herzventrikel:

Abb. 2



1. Arteria coronaria dextra
2. Ramus circumflexus der Arteria coronaria sinistra
3. Ramus interventricularis der Arteria coronaria sinistra

Typische Variationen der Versorgungsbereiche beider Koronararterien

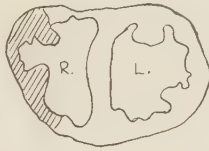
Überwiegen der Arteria coronaria dextra:

Abb. 3



Überwiegen der Arteria coronaria sinistra:

Abb. 4



3. Die Nomenklatur der Herzkranzgefäße

Die Nomenklatur der Koronararterien hat im Laufe der Zeit eine weitgehende Differenzierung erfahren.

Lange Zeit hatte die Anatomie der Herzkranzgefäße nur eine theoretisch-wissenschaftliche Bedeutung. Für den Arzt, der einen Angina-pectoris-Anfall oder einen Herzmuskelinfarkt zu behandeln hat, ist es auch heute noch praktisch ohne Bedeutung, welche Koronararterie auslösend für eines der Ereignisse ist. Die Größe und Lokalisation des Infarktes steht ganz im Vordergrund, ohne wissen zu müssen, welche Kranzschlagader hierfür verantwortlich zu machen ist.

In jüngster Zeit gewinnen jedoch operative Verfahren am Herzen und an den Herzkranzgefäßen sowie Koronarangiographien zunehmend an Bedeutung. Deshalb war eine genauere Differenzierung der einzelnen Äste notwendig. Dadurch gelang es erst, Veränderungen an den Gefäßen genau zu lokalisieren. Es hat sich bei Operationen am Herzen herausgestellt, daß jeder größere Koronararterienast geschont werden muß und daß selbst funktionell unbedeutende Varianten in der Gefäßverteilung zu berücksichtigen sind.

Die Basler Nomenklatur (1895) unterteilte die Koronararterien in:

A. coronaria dextra mit Ramus descendens posterior.

A. coronaria sinistra mit Ramus descendens anterior und Ramus circumflexus.

SPALTEHOLZ (1924) bezeichnete bereits die einzelnen Äste genauer. Er unterteilte die rechte Kranzarterie in fünf, die linke in sechs Unteräste. Untersuchungen von JAMES (1961), SONES, GENSINI und LICHTLEN (1967) und ROHEN (1969) brachten weitere Unterteilungen. Diese Ergebnisse wurden auf dem "Symposion for Coronary heart disease" im Januar 1970 in Frankfurt zusammengefaßt und als derzeitiger Vorschlag unterbreitet.

Es sind 17 einzelne Arterienäste am Herzen genau bezeichnet:

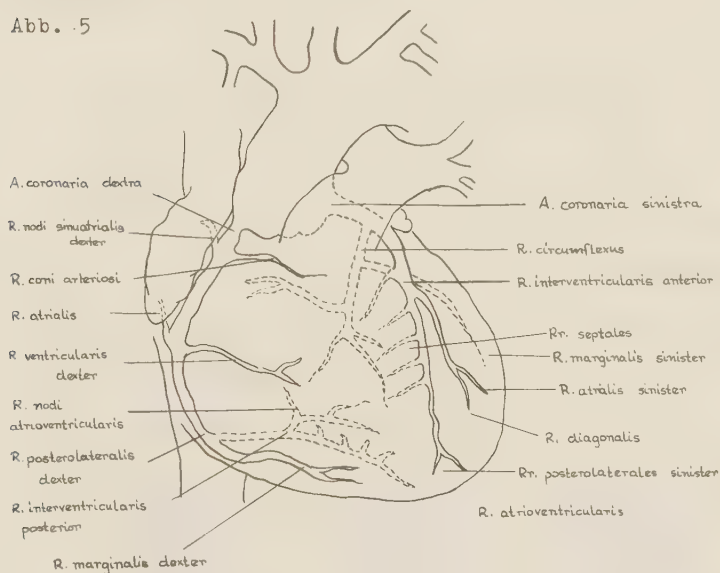
<u>A. coronaria dextra:</u>	R. coni arteriosi
	R. nodi sinuatrialis dexter
	R. ventricularis dexter
	R. marginalis dexter
	Rr. atriales
	R. nodi atrioventricularis
	R. interventricularis posterior
	R. posterolateralis dexter
<u>A. coronaria sinistra:</u>	R. interventricularis anterior
	R. diagonalis
	Rr. septales
	R. circumflexus
	R. nodi sinuatrialis sinister (Var)

R. atrialis sinister
 R. marginalis sinister
 Rr. posterolaterales sinistri
 R. atrioventricularis

In der folgenden Herzskizze sind diese einzelnen Koronararterienäste bezeichnet. Sie gibt dem Chirurgen die Möglichkeit, sich vor operativen Eingriffen über ermittelte Befunde, wie Stenosen, Abweichungen im Versorgungstyp, Anastomosenfelder usw. zu orientieren und Ergänzungen einzutragen.

Herzskizze

Abb. .5



4. Die verschiedenen Verteilungstypen

Es hat sich gezeigt, daß die große klinische Bedeutung der ischämischen Myocarderkrankungen eine genaue Diagnostik und Therapie voraussetzt. Neben der internistischen Behandlung der pectanginösen Beschwerden und des Myocardinfarktes werden immer mehr chirurgische Methoden in die Therapie eingeführt. Der zur Zeit wohl häufigste Eingriff ist die Operation nach VINEBERG. Es handelt sich hierbei um die Einpflanzung der Arteria mammaria interna in ischämische Myocardbezirke.

Für derartige Eingriffe ist die genaue Kenntnis der pathologisch-anatomischen Veränderungen des Koronarsystems unbedingt erforderlich. Entscheidende Schritte auf diesem Gebiet wurde durch die von SONES und Mitarb. (1959) eingeführte selektive Koronararteriographie getan. GENSINI und Mitarb. (1967) und LICHTLEN (1967) bereicherten dieses Verfahren noch durch die Kinematographie, bei der die einzelnen Koronaräste in verschiedenen Ebenen sichtbar gemacht werden können.

Die große Variabilität der arteriellen Blutversorgung des Herzmuskels gab immer wieder Anlaß dazu, eine Einteilung in verschiedene Koronarversorgungstypen auszuarbeiten. Es wurde die Herzhinterwand als Bezugssystem benutzt, da man hier die größten Abweichungen im Koronararterienverlauf findet.

BANCHI (1904) war wohl einer der ersten, der sich um eine Ordnung im koronaren Verteilungsmuster bemühte.

Er unterscheidet:

- a. Normaltypen
- b. Rechtstypen
- c. Linkstypen

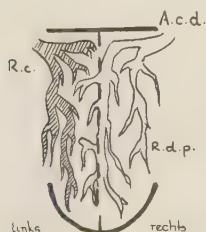
zu a. Beim Normalversorgungstyp wird der Ramus descendens posterior von der rechten Herzkranzarterie gebildet und dieser absteigende hintere Ast gibt noch kleine Äste zum linken Ventrikel ab.

zu b. Beim Rechtstyp wird fast die gesamte Hinterwand der linken Herzkammer von der rechten Koronararterie versorgt.

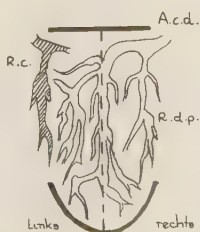
zu c. Beim Linkstyp versorgt in umgekehrter Weise die linke Kranzarterie noch Teile des rechten Ventrikels. Auch der Ramus descendens posterior wird von ihr gebildet.

SCHLESINGER (1940) trennt ebenfalls rechtes und linkes Koronarsystem an der Crux cordis und am Sulcus interventricularis posterior scharf ab.

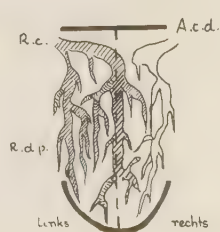
Abb. 6 Normal-Typ



Rechts-Typ



Links-Typ



CRAINICIANU (1921) beschrieb die Koronararterien ausführlich in ihren Verläufen, Versorgungsgebieten und Varianten. Eine Beziehung der beiden Koronarsysteme zueinander, und damit eine Einteilung in Versorgungstypen findet man bei ihm nicht.

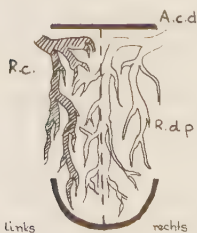
SCHOENMACKERS (1963) benutzte für die Definition der Versorgungstypen nicht nur das Herzkreuz, sondern auch den Verlauf des hinteren absteigenden Astes.

Beim Normtyp zieht die rechte Koronararterie bis zum Herzkreuz und dann als hinterer Ast bis fast an die Herzspitze.

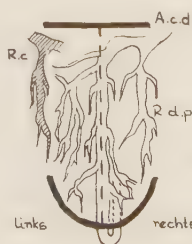
Beim Rechtstyp wird die Herzhinterwand bis zum Margo obtusus von rechts versorgt und der hintere absteigende Ast umschlingt die Herzspitze. Er verläuft dann im vorderen Sulcus interventricularis mehr oder weniger weit basiswärts.

Beim Linkstyp stammt der Ramus descendens posterior aus der linken Kranzarterie und der vordere absteigende Ast umschlingt die Herzspitze. Er verläuft dann im hinteren Sulcus interventricularis mehr oder weniger weit basiswärts.

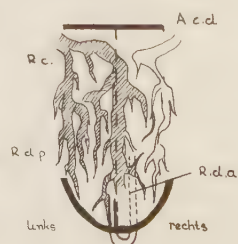
Abb. 7 Normal - Typ



Rechts - Typ



Links - Typ



HOFFMANN und Mitarb. (1970) versuchten einen neuen Einteilungsmodus zu finden, in dem alle Variationen im Verlauf der Koronararterien berücksichtigt werden. Als Kriterium für den einzelnen Versorgungstyp wird die Septumversorgung herangezogen.

Die alte Nomenklatur wurde beibehalten.

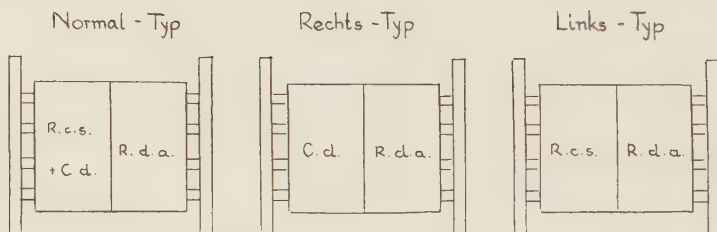
Sie sprechen von:

- a. Normaltyp (Differenztyp), wenn an den vorderen Septumanteil abzweigende Äste vom Ramus descendens anterior abgegeben werden, der hintere Septumteil jedoch von beiden nach dorsal ziehenden Koronararterien mit Ästen versorgt wird.

Die Bezeichnung Normaltyp besagt also nicht, daß das Herz von beiden Kranzarterien gleich stark versorgt wird. Es liegt die Grenze zwischen den Versorgungsgebieten der beiden Kranzarterien lediglich genau im Sulcus interventricularis posterior. Beim Rechts- bzw. Linkstyp ist diese Grenze mehr oder weniger weit nach lateral auf die Rück- und Seitenwände verschoben.

- b. Rechtstyp, wenn der vordere Septumanteil hauptsächlich von der linken und der hintere von der rechten Kranzarterie versorgt wird.
- c. Linkstyp, wenn das gesamte Septum von der linken Koronararterie vaskularisiert wird und zwar mit Hilfe eines Ramus descendens anterior und posterior.

Abb. 8



Schematische Zeichnungen der durchschnittlichen Versorgungsgebiete im Septumbereich.

HOFFMANN und Mitarb. fanden an Hand von 100 Korrosionspräparaten in Kombination mit Koronarographien:

Normaltyp	6 %
Rechtstyp	77 %
Linkstyp	17 %

Dieser Prozentsatz wird als repräsentativ für Westeuropa angesehen.

HOFFMANN ging in seiner Einteilung noch weiter und berücksichtigte außer der Septumversorgung auch das Verhalten des Ramus descendens anterior und posterior, in Bezug zur Herzspitze. Durch dieses zusätzliche Kriterium werden die drei Hauptgruppen noch jeweils in Untergruppen aufgeteilt.

In Bezug auf die Herzspitze bestehen für den Ramus descendens anterior und posterior folgende drei Möglichkeiten:

1. Umbiegen des Ramus descendens anterior um die Herzspitze nach dorsal (Abb. 23, 27, 28)
2. Umbiegen des Ramus descendens posterior um die Herzspitze nach ventral
3. Sowohl Ramus descendens anterior und posterior enden an der Herzspitze.

Einteilung der Versorgungstypen in Haupt- und Untergruppen:

1. Rechtstyp (I) mit 3 Untergruppen:

- I a Rechtstyp mit Umbiegen des Ramus descendens anterior um die Herzspitze nach dorsal.
- I b Rechtstyp mit Endung des Ramus descendens anterior und posterior an der Herzspitze.
- I c Rechtstyp mit Umbiegen des Ramus descendens posterior um die Herzspitze nach ventral.

2. Linkstyp (II) mit 2 Untergruppen:

- II a Linkstyp mit Umbiegen des Ramus descendens anterior um die Herzspitze nach dorsal.
- II b Linkstyp mit Endung des Ramus descendens anterior und posterior an der Herzspitze.

3. Normaltyp (III) mit 2 Untergruppen:

- III a Normaltyp mit Umbiegen des Ramus descendens anterior um die Herzspitze nach dorsal.
- III b Normaltyp mit Endung des Ramus descendens anterior und posterior an der Herzspitze.

5. Varianten der Koronarverteilung

Als Varianten des Koronarmusters bezeichnen wir die abweichenden Verlaufsformen der Koronararterien von der normalen Anatomie. Ihnen kommen meist keine hämodynamischen Bedeutungen zu. Es sollen hier nur wenige Varianten herausgegriffen werden, die eine diagnostische Bedeutung haben können.

Über Variationen im Verlauf der Koronararterien unterrichten die Untersuchungen von SCHLESINGER, ZOLL und WESSLER (1949). Sie beschreiben eine 3. Koronararterie. Sie entspringt gegenüber dem Ramus circumflexus aus dem Stamm der linken Koronararterie, wendet sich dann nach rechts und verteilt sich mit ihren Ästen auf dem rechten Infundibulum.

Der Ramus descendens anterior sinister teilt sich manchmal etwa in der Mitte der Koronarfurche in zwei gleichstarke Äste. Der Stamm des Ramus descendens kann sich auch in Höhe des ersten Septumastes oder etwas tiefer fächerförmig aufteilen, wobei der Verlauf des Ramus descendens nur durch einen ganz schmalen Ast fortgesetzt wird. Das Septum erhält somit nur wenige dünnwandige und enge Arterien, so daß dieses Verteilungsmuster als ungünstig angesehen werden muß.

Fast alle hypertrophierten Herzen haben einen zusätzlichen kräftigen Koronarast, den Ramus diagonalis (Abb. 22, 29, 38), der meist im Winkel zwischen Ramus descendens und Ramus circumflexus sinister aus dem Anfangsteil des Ramus descendens, bzw. Ramus circum-

flexus, entspringen kann. Er überquert diagonal die Vorderwand des linken Ventrikels. Die Endverzweigungen des Ramus diagonalis befinden sich im allgemeinen an der linken Kammerkante.

Die rechte Koronararterie verläßt gelegentlich hinter dem Margo acutus die Kammerfurche, zieht schräg über die Hinterwand des rechten Ventrikels und erreicht den Sulcus posterior erst nahe der Herzspitze. Ein kleinerer Ast der Arteria coronaria dextra kann in der Vorhofkammerfurche bleiben. Es ist verständlich, daß bei diesem Muster der Ramus circumflexus sinister das obere Drittel des Septums versorgt.

HACKENSELLNER (1955) fand bei 1000 untersuchten Herzen in 3 Fällen nur eine Kranzarterie.

KAUNITZ (1947) beobachtete bei 7800 Autopsien zweimal einen Ursprung der linken Kranzarterie aus der Arteria pulmonalis.

Die linke Kranzarterie kann sich in zwei oder in drei Hauptäste aufteilen. Es liegt dann ein Bifurkations- oder Trifurkationstyp vor. (Abb. 22). Die Aufteilungsstelle liegt in der Regel etwa 1 cm distal des linken Koronarostiums (HELWING 1967). Wir beobachteten ein Herz, bei dem der Ramus descendens anterior und der Ramus circumflexus sinister getrennt aus dem linken Sinus valsalvae entspringen. Beim Trifurkationstyp handelt es sich, wie bereits schon erwähnt, um die Aufteilung des linken Koronarhauptstammes in einen Ramus descendens anterior, einen Ramus diagonalis und einen

Ramus circumflexus sinister. Da der Ramus diagonalis somit ein Versorgungsareal übernimmt, das eigentlich dem Ramus descendens anterior zugehörig ist, wird verständlich, daß bei einem Verschuß des Ramus descendens anterior immer noch Teile vom Ramus diagonalis mitversorgt werden.

Der Ramus descendens anterior kann sich außerdem noch in schräg und in radiär abgehende Äste aufteilen.

6. Das Venensystem des Herzens (Abb. 22, 26, 33, 36, 37)

Sieht man von den kleinen und kleinsten Venen ab, so erreichen alle den Sinus coronarius, der in der hinteren Querfurche in den rechten Vorhof einmündet.

Folgende Venen erreichen den Sinus coronarius:

a. Die Vena cordis magna: Sie beginnt an der Herzspitze und steigt in enger Beziehung zum Ramus descendens anterior der linken Kranzarterie aufwärts zum Sulcus coronarius und verläuft unter dem linken Herzohr zum Sinus coronarius. Auf ihrem Weg zur Kranzfurche erhält sie Blut aus dem rechten und besonders aus dem linken Ventrikel sowie aus dem Conus arteriosus. An der linken Herzkante nimmt sie die Vena marginalis sinistra auf. Diese kann jedoch den Sinus coronarius auch direkt erreichen. Ähnlich verhält es sich mit der Vena posterior ventriculi auf der dorsalen Seite der linken Herzkammer, die sowohl in die Vena cordis magna

als auch in den Sinus coronarius münden kann.

b. Die Vena cordis parva: Diese oft sehr schwach ausgebildete Vene verläuft parallel zur rechten Kranzarterie in der rechten Kranzfurche und mündet in den Sinus coronarius an dessen rechtem Umfang. Sie nimmt Blut aus der Vorderwand des rechten Ventrikels und des rechten Vorhofs auf. Oft mündet das Blut aber direkt in den rechten Vorhof.

c. Die Vena cordis media: Sie zieht in enger Beziehung mit dem absteigenden Ast der rechten Kranzarterie zum Sinus. Sie nimmt Blut aus der Wand des rechten und linken Ventrikels auf.

d. Die Vena obliqua atrii sinistri (Marshalli): Diese recht unauffällige Vene bekommt Blut von der Dorsalwand des linken Vorhofs und zieht schräg abwärts zum Sinus coronarius.

Die Venae cordis minimae münden in die Arterien. Ihre Foramina erkennt man oft nur mit der Lupe. Im Endocard des rechten Vorhofs kann man bis zu 10 solcher größerer Foramina erkennen. Foramina in die Ventrikel findet man vor allem an der Basis der Papillarmuskel (TANDLER 1913), in den Trabekeln (AHO 1950) und im Septum (KRETZ 1928). Die Bedeutung dieser kleinsten Venen für den Herzmuskel im Sinne einer, wenn auch geringen Ernährung bei pathologischen Bedingungen, wurde immer wieder erörtert. Schon CRAINICIANU hat ausgedehnte

Experimente zu diesem Problem gemacht und schreibt, daß durch diese kleinen Gefäße eine "nutritive Beziehung zwischen den Herzhöhlen und Herzwänden bestehe". Weitere Experimente haben tatsächlich gezeigt, daß Blut durch diese kleinsten Venen in die intramuralen Kranzgefäße gelangen kann.

Häufig fanden wir bei unseren Präparaten ausgedehnte Anastomosenfelder zwischen den einzelnen Venen

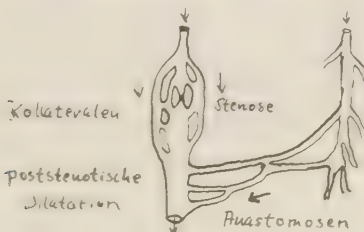
(Abb. 33, 36). Diese lagen bevorzugt zwischen der Vena marginalis sinistra und Ästen der Vena cordis media, im Herzspitzenbereich zwischen der Vena cordis magna und der Vena cordis media und im Septumbereich.

V. Anastomosen und Kollateralen

Bevor wir auf Kollateralen und Anastomosen eingehen, müssen wir definieren, was wir unter Kollateralen und Anastomosen verstehen wollen. Unter Kollateralen verstehen wir Gefäße, die Blut über Verbindungen innerhalb des Versorgungsgebietes des gleichen Gefäßes umleiten. Das typische Beispiel für Kollateralen sind die Brückenkollateralen, die korbformig einen Arterienverschluß umgehen. Unter Anastomosen versteht man dagegen Gefäße, die Blut aus einem anderen Gefäßgebiet, auch des gleichen Organs, heranzuführen.

Nach dieser Definition besteht der Unterschied zwischen Kollateralen und Anastomosen darin, daß die Kollateralen im Versorgungsgebiet des gleichen Gefäßes und vor dessen Kapillargebiet Querverbindungen und Umleitungen zum distalen Abschnitt des gleichen Gefäßes schaffen, also den durchgängigen proximalen und distalen Abschnitt einer stenosierten oder verschlossenen Arterie miteinander verbinden. Anastomosen führen dagegen Blut aus einer anderen Arterie heran, das dieser Arterie vor ihrem Kapillargebiet abgezweigt wird. Die Verbindungen zwischen Koronar- und extrakardialen Arterien sind deshalb definitionsgemäß ebenfalls Anastomosen.

Abb. 9



Das Problem der Koronaranastomosen wird seit COHNHEIM und SCHULTHESS-RECHBERG (1881) immer wieder lebhaft diskutiert. Es hat immer wieder Stimmen für oder gegen die morphologische Existenz von Anastomosen zwischen den Koronararterien gegeben. Die viel diskutierte Frage, ob die Kranzarterien als Endarterien aufzufassen sind (Cohnheim) oder ob Verbindungen zwischen ihnen bestehen, kann durch die Untersuchungen von JAMIN und MERKEL (1907) und von HIRSCH und SPALTEHOLZ als gelöst betrachtet werden. Während nach JAMIN und MERKEL sich am häufigsten Anastomosen an den Vorhöfen, in der Vorhofs- und Kammerscheidewand und unter besonderen Umständen auch in der Vorderwand des rechten Ventrikels, wie über die Papillarmuskeln und an der Herzspitze nachweisen lassen, sowie Zahl und Art der Verbindungen erhebliche individuelle Verschiedenheiten zeigen, betont SPALTEHOLZ die Gesetzmäßigkeit der Anastomosen. Nach ihm anastomosieren die Koronararterien nahe der Oberfläche an allen Abschnitten des Herzens reich miteinander. Die Anordnung des oberflächlichen Anastomosennetzes ist ähnlich der an flachen Stammuskeln. Wo dickere Myocardschichten vorhanden sind, wie im linken Ventrikel, gehen nach SPALTEHOLZ vom oberflächlichen Netz Äste annähernd senkrecht in die Tiefe und bilden innerhalb der Muskulatur, besonders unter dem Endocard zahlreiche Anastomosen. Jeder Papillarmuskel besitzt mehrere zuführende Gefäße, die untereinander in Verbindung stehen. Dabei sind die Anastomosen nicht nur allerfeinste Äste,

sondern sie besitzen oft einen ansehnlichen Querschnitt. JAMIN und MERKEL versuchten an Hand zahlreicher stereoskopischer Bilder nachzuweisen, ob Verbindungen zwischen den Kranzarterien existieren. Nach ihnen stehen die benachbarten Verzweigungen der rechten und linken Kranzarterie für sich in Verbindung. Außerdem bestehen zwischen den großen vorderen Ästen der Kammerscheidewand, die aus dem Ramus descendens anterior stammen, und den kleineren hinteren aus der rechten Kranzarterie, abzweigende Anastomosen. Diese Anastomosen sind meist nur klein. Größere Verbindungsäste kommen fast nie oberflächlich, dagegen im Herzmuskel, in erster Linie im Kammerseptum vor. FULTON (1965) fand ebenfalls viele Anastomosen, besonders im Ventrikelseptum, von denen die feineren nur etwa 20 - 30 μ stark sind.

Auch die von NUSSBAUM (1912) angewandte Metallmethode gestattet, die Anastomosen der einzelnen Kranzarterienäste und der Zweige verschiedener Koronararterien untereinander zur Darstellung zu bringen. Nach NUSSBAUM kommen Anastomosen an der Oberfläche, besonders auf der Vorderfläche des rechten Ventrikels, der Herzspitze und dem Septum vor. Sie werden durch lange dünne Äste, die gewöhnlich nur wenige Seitenzweige abgeben, gebildet. Außerdem bestehen spinnenfadenfeine, kurze Verbindungen an allen Stellen der Ventrikelwand zwischen kleinsten Ästen. Anastomosen zwischen den Vorhofästen konnte NUSSBAUM mit seiner Methode nicht darstellen.

Auf die erheblichen Variationen im "anastomotischen System" macht CRAINICIANU (1921) aufmerksam. Er stellte für verschiedene Herzen die "anastomotische Durchgängigkeit" fest, d. h. dasjenige Quantum Serum, das bei Einfließen in die eine Kranzarterie unter bestimmten Druck aus der anderen Arterie in bestimmter Zeit ausfließt. Die gefundene Zahl des Serumquantums wird mit dem Gewicht des Herzens dividiert. Daraus errechnete er den "anastomotischen Koeffizienten", der für jede Arterie konstant ist. Der linke Koeffizient ist häufig größer als der rechte am normalen Herzen.

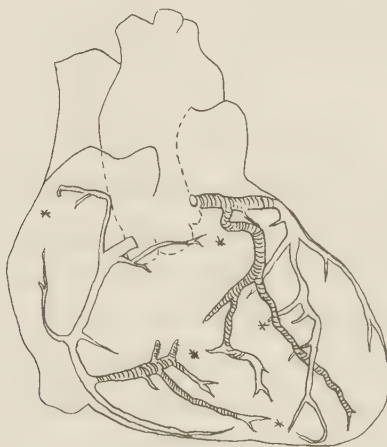
SCHOENMACKERS (1948) untersuchte die Anastomosen kranker Herzen. Er stellte fest, daß sich bei der Injektion der einen Kranzarterie über Anastomosen die andere füllt. Diese Füllung kann ausreichend oder unvollständig sein. Nach seinen Untersuchungen liegt das größte Anastomosenfeld wohl im Septumbereich (Angiographische Darstellung), weil sich hier die Versorgungsgebiete des Ramus descendens der linken Kranzarterie und der rechten Kranzarterie treffen.

MÜLLER-MOHNSEN (1957) stellte bei der Untersuchung des Septumbereiches fest, daß hier ein beträchtliches Anastomosenfeld besteht. Bei normalem Koronargefäßsystem ist eine Auffüllung der hinteren absteigenden Äste der rechten Koronarie vom linken Ramus descendens aus über die vorgebildeten Anastomosen nur schwer zu erreichen. Von der rechten Koronarie aus gelingt dagegen die Auffüllung des linken Ramus descendens über

Septumanastomosen sehr viel häufiger und vollständiger. Bei stenosierender Koronarsklerose können sich die Septumanastomosen erweitern und bilden dann die Brücken für einen Kollateralkreislauf zwischen Vorder- und Hinterwand des Herzens.

An den Grenzen der einzelnen Versorgungsgebiete der Herzkranzarterien finden wir die wichtigsten Anastomosenfelder.

Abb. 10



Die Skizze zeigt uns die Topographie der Anastomosenfelder oberflächlicher Äste (abgewandelte Skizze nach GENSINI, BUONANNO und PALACIO).

Zusammenhang zwischen Anastomosen und den einzelnen Versorgungstypen

Die Kenntnis der einzelnen Versorgungstypen verdanken wir den jahrelangen Arbeiten von SCHOENMACKERS. Die Typen nicht normaler Kranzarterienausbreitung sind für die Entstehung bestimmt lokalisierter Versorgungsman-gelbezirke von großer Bedeutung. In 20 - 30 % aller Sektionen weicht das Verteilungsmuster von den konventionellen Vorstellungen ab. Beim Linksversorgungstyp ist die rechte Koronararterie hypoplastisch. Der Ramus circumflexus sinister ist mäßig entfaltet. Er greift über die Hinterwand nach rechts hinüber, versorgt den aus ihr entspringenden Ramus interventricularis posterior und zieht bis an die rechte Kammerkante. Dieser Versorgungstyp stellt eine besondere Gefährdung der rechten Kammerwand dar. Beim Rechtsversorgungstyp liegt eine Hypoplasie des Ramus circumflexus sinister vor. Die Arteria coronaria dextra umgreift von rechts dorsal kommend Hinter- und Seitenwand der linken Kammer. In diesem Fall bleiben die Anastomosenfelder des Ventrikelseptums, der Vorderwand, der rechten Kammer und der Herzspitze erhalten. SCHOENMACKERS (1962, 1967) meint, daß beim Linksversorgungstyp die Anastomosenfelder ausfielen. Deshalb sei der Rechtsversorgungstyp sehr viel günstiger. Es lassen sich keine genauen Prozentzahlen über die echte Häufigkeit sogenannter Versorgungstypen geben, denn pathologische Veränderungen des Myocards, wie Hypertrophie, sowie

Veränderungen an den Koronararterien (Stenosen) ergeben besondere Bedingungen, so daß bei der Entfaltung von Anastomosen mal die rechte, mal die linke Koronararterie vorherrscht. Man kann also sagen, daß Anastomosen und Versorgungstypen miteinander zusammenhängen.

Anastomosen und Kollateralen bei Koronarinsuffizienz

SCHIFF (1849) hat wahrscheinlich als erster im Tierversuch Kranzschlagadern unterbunden und die Folgen beobachtet. Neuere Untersuchungen über experimentell erzeugte Kollateralen und Anastomosen der Koronararterien wurden von BLUMGART, ZOLL (1950), BLALOCK (1950) und HAEGER (1959) gemacht.

Unter Koronarinsuffizienz verstehen wir eine Durchblutungsnot der Herzmuskelzellen, wobei die ungenügende Versorgung mit Sauerstoff die Hauptrolle spielt. Sie kann extrakardial durch hochgradige Anämie, durch die Bindung des Hämoglobins an Kohlenmonoxyd oder Methämoglobinbildung oder eine erhebliche arterielle Untersättigung mit Sauerstoff bedingt sein. Ein zu niedriger Druck in der Aorta verringert den Blutdurchfluß. Die häufigste Ursache jedoch bildet die Koronarsklerose.

Beim Menschen ist die Koronarsklerose im allgemeinen ein mehr oder weniger lange dauernder Prozeß einer progredienten Koronarverengung. Während dieser Phase besteht die Möglichkeit zur Entwicklung eines Koronarkreislaufes. Aus diesem Grunde und um den Bedingungen der Erkrankung beim Menschen besser zu entsprechen,

versuchte man experimentell einen sich allmählich entwickelnden Koronarverschluß beim Tier zu erzeugen, durch

graduellen Verschluß einer großen Koronararterie mittels Metallklemmen;

Verschluß der Hauptkoronarien nach und nach mittels periodischer Ligatur über einen Zeitraum von Monaten;

eine Verengung der Hauptkoronarien in der Nähe ihres Ursprungs durch zunehmendes Schließen einer modifizierten Goldblatteklemme, bis nach 5 Wochen ein vollständiger Verschluß eingetreten war.

Man folgert, daß der sich während des graduellen Koronarverschlusses entwickelnde Kollateralkreislauf ausreichte, um einen wesentlichen Teil des Myocardschadens vorzubeugen, der sich ergab, wenn man das gleiche Gefäß plötzlich verschloß. Man konnte feststellen, daß der völlige Verschluß einer Koronararterie nicht notwendigerweise einen Myocardinfarkt nach sich zog, wenn es allmählich zum Verschluß kam. Diese experimentellen Beobachtungen stimmten mit den Fällen des Koronarverschlusses beim Menschen überein, bei denen ein Myocardinfarkt eine häufige, aber nicht unbedingte Folge ist. Bei Obduktionen alter Menschen mit erheblich arteriosklerotisch veränderten Koronararterien bis zu hochgradiger Lumeneinengung findet man oft keine oder kaum nennenswerte verschwielte Herzmuskelausfälle.

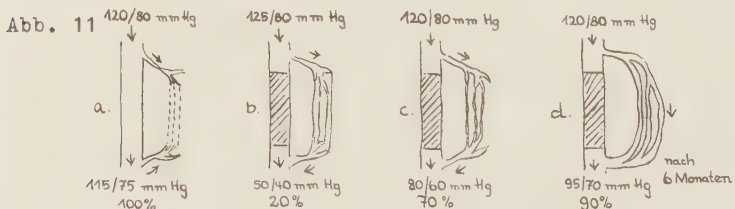
Anpassung der koronaren Durchblutung an strukturelle Veränderungen der Gefäßwand

Je rascher die Obliteration einer großen Arterie eintritt, um so dramatischer sind ihre Erscheinungen, da die Kollateralkreislaufentwicklung erst allmählich erfolgt und bei Verschlußeintritt noch nicht ausreichend ist. Die schwerste Folge zieht zweifellos der embolische oder thrombotische Verschluß eines groß- oder mittelkalibrigen Koronarastes nach sich. Embolien sind sehr selten. Sie haben ihren Ursprung meistens in einer Endocarditis der Aortenklappen mit Abschwemmung kleiner Teilchen, die in die Sogwirkung der Koronarostien gelangen können. Von den Thrombosen findet sich am meisten eine hochsitzende Thrombose des linken Ramus descendens kurz nach der Abzweigung des Ramus circumflexus. Dies bedeutet einen akuten Stop der Zirkulation. Die Plötzlichkeit mit der dieses Ereignis auftritt, ist wesentlich für die Gefährdung des betroffenen Herzmuskelabschnittes. Dieser wird in der Regel in kleinerem oder größerem Umfang nekrotisch werden. Kommt es dagegen zur langsamen Einengung einer großen Arterie, dann entwickelt sich parallel hierzu ein Ersatzkreislauf, der bei schließlich vollständigem Verschluß der Hauptgefäße schon so leistungsfähig sein kann, daß keine akuten Erscheinungen mehr auftreten. Andererseits kann die Häufigkeit, mit welcher Infarkte selbst nach einem allmählichen Koronarverschluß auftreten, als Beweis für die in den meisten Fällen

nachweisbare Unzulänglichkeit des Kollateralkreislaufes angesehen werden.

Die Bedeutung des Zeitfaktors, der die rechtzeitige Kreislaufumstellung und damit eine Bannung von Kollateralen ermöglicht, ist entscheidend.

Die Blutgefäße differenzieren sich im Verlauf der embryonalen Entwicklung aus einem Netz kapillarer Endothelschläuche. Daraus wird verständlich, daß die Arterien grundsätzlich nicht als Endarterien angelegt sind, sondern je nach Gewebe ein mehr oder weniger enges System von Anastomosen untereinander aufweisen. Diese anatomischen Verhältnisse ergeben die Grundlage für die Ausbildung von Kollateralgefäßen. Bei Unwegsamkeit einer Gefäßstrecke gelangt das Blut auf Umwegen in die peripherwärts von der verlegten Stelle befindlichen Gefäßgebiete. Hierbei werden die physiologischen anastomotischen Verbindungen der Arterien benutzt. Das Blut fließt aus einem oder mehreren Seitenästen, die herzwärts der Obliteration entspringen, über feine, präformierte Anastomosen zum Einzugsgebiet eines oder mehrerer distal gelegener Seitenäste, in welchen es zur Strömungsumkehr kommt.



Entwicklung eines funktionstüchtigen Kollateralkreislaufes (nach SCHOOP).

Die hämodynamische Situation läßt sich folgendermaßen charakterisieren:

a. Durchgängige Arterie

b. Passive Erweiterung der präformierten Bahnen nach Verschluß der Arterie zwischen den beiden eingezeichneten Seitenästen. Umkehr der Strömungsrichtung im Seitenast distal des Verschlusses.
Großer Druckgradient ($P_1 - P_2$).

c. + d. Eigentlicher Umbau der Gefäße zu Kollateralen.
Progressive Abnahme des Druckgradienten ($P_1 - P_2$) durch Abnahme des kollateralen Widerstandes.

Der kollaterale Druckgradient führt zu einer Strömungsbeschleunigung und damit zu einer Zunahme der Scherspannung an der Endothelschicht der Kollateralgefäße. (HEBERER). Auf die passive Erweiterung der präformierten Bahnen folgt der eigentliche Umbau der Gefäße zu Kollateralen. Die Gefäßwand wird durch Verdickung des Endothels und Vermehrung des Bindegewebes und der glatten Muskelfasern verstärkt. Das vermehrte Längenzwachstum führt zu korkenzieherähnlichen Kollateralgefäßen.

Die Anastomosen im Koronarsystem haben wahrscheinlich unter normalen Kreislaufbedingungen keine große Bedeutung. Sie sind bei plötzlichem Koronarverschluß auf jeden Fall nicht ausreichend für eine rasche Entwicklung eines funktionstüchtigen Kollateralkreislaufes.

Die normalen Anastomosen zwischen den Koronarästen können in der Regel einen von der Blutzufuhr plötzlich abgeschnittenen Bezirk nicht ausreichend genug versorgen. Nimmt man jedoch Koronarsklerosen des höheren Lebensalters, dann werden in mehr als der Hälfte der Fälle ausgeprägte Kollateralkreisläufe gefunden.

Die Kollateralkreisläufe folgen in ihrem Verlauf den schon in normalen Herzen vorhandenen vorgebildeten anastomotischen Bahnen. Diese finden sich an Stellen mit schon normalerweise vorhandener starker Gefäßdichte.

- a. im Septumbereich
- b. im Bereich der Papillarmuskeln und der äußeren Schichten der Kammerwände
- c. im subendocardialen Gewebe des linken Ventrikels

Mit Hilfe von postmortalen Angiogrammen, Korrosions- und Aufhellungspräparaten kann man diese Gefäßbahnen in gut der Hälfte der Fälle nachweisen. ZOLL, WESSLER und SCHLESINGER haben mit ihrer kombinierten röntgenologisch-präparatorischen Methode nur in 9 % gesunder Herzen Anastomosen gefunden.

Die größte Zahl der Anastomosen liegt im Septumbereich (MÜLLER-MOHNSEN). Bei Verschuß des linken Ramus descendens erweitern sich die Anastomosen und bilden kontinuierlich durchlaufende Verbindungen, die die Größenverhältnisse von Arteriolen und kleinen Arterien

annehmen können. Wir fanden bei einem 65jährigen Herzen mit nur mittelgradiger Arteriosklerose der Koronargefäße zahlreiche weitleumige Septumäste und eine durchlaufende Verbindung mit einer Kaliberstärke von ca. 200 mü (Abb. 36, 38). Es muß also nicht unbedingt ein Verschluß des Ramus descendens der linken oder der rechten Kranzarterie vorliegen, um stark ausgebildete Septumanastomosen zu erzeugen. BAROLDI und SCOMAZZONI (1958) fanden bei ihren Studien des Koronarkreislaufes in allen normalen Herzen jeden Alters einen reichlich kollateralen Kreislauf, der aus Anastomosen besteht, deren Gefäßweite durchschnittlich 250 mü beträgt und geringsten Werten von 20 - 30 mü. Dieser Kreislauf wird unter pathologischen Umständen hypertrophisch und der Durchmesser dieser Gefäße beträgt dann oft über einen Millimeter.

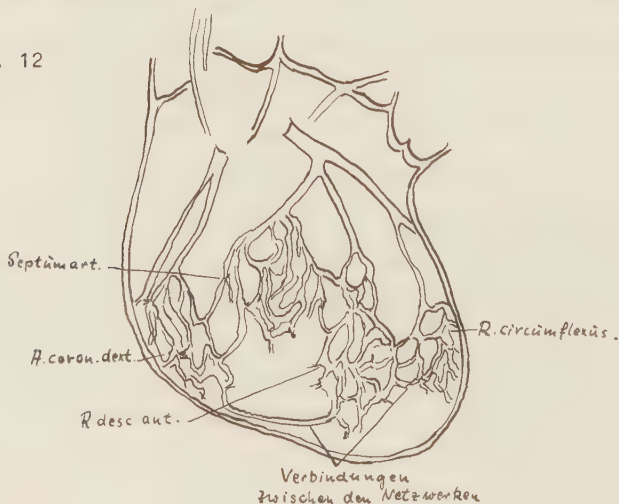
Auch im normalen Herzen füllen sich die Septumanastomosen vom Ramus descendens her nur schwach an. An Beispielen von Obliterationen des proximalen Teils der rechten Koronarie bis zur Herzkante läßt sich zeigen, daß die langen Septumäste der linken Koronarie nur im oberen Drittel schwache Verbindungen zur rechten Koronarie aufnehmen. Der ventrodorsale Kollateralkreislauf über das Septum bleibt immer nur schwach und erreicht nie die Stärke wie der Weg von der rechten Koronarie zur linken (MÜLLER-MOHNSEN). Man kann daraus ableiten, daß bei ausgebildeten Kollateralkreisläufen über das Septum in der Regel ein Verschluß des linken

Ramus descendens vorliegt.

Die Entwicklung eines Kollateralkreislaufes im Herzen braucht Zeit. Das sehen wir am frischen Herzinfarkt, der sich in der akuten Phase noch nicht im Arteriogramm darstellt. In welcher Zeit die Bahnung der Kollateralen erfolgt, kann nicht sicher angegeben werden. Aus den Krankheitsverläufen und vielen Versuchen kann man jedoch sagen, daß dafür Monate notwendig sind und daß das Maximum des Umbaus etwa in 1 - 1 1/2 Jahren abgeschlossen ist. Von den Extremitäten ist bekannt, daß hier die Kollateralkreisläufe oft schon in wenigen Tagen entwickelt sein können.

Wir sehen, daß bei stenosierender Koronarsklerose eine Umschaltung im Koronarsystem auf die Weise erfolgt, daß Gebiete mit schlechter Blutversorgung an solche mit besserer angeschlossen werden. Eine Skizze soll die Nahtstellen der einzelnen Versorgungsareale zeigen.

Abb. 12



Die Koronararterien teilen sich in ein Netz von feinen Arteriolen auf, die intramyocardial gelegen sind. Beim gesunden menschlichen Herzen bestehen nur in 7 % Anastomosen zwischen den einzelnen Bezirken (SCHLESINGER u.a.). Diese Bezirke lassen sich gut mit Aralditmasse post mortem darstellen (Abb. 25, 28, 38).

Man kann sich gut vorstellen, daß eine Verschiebung in den Nahtstellen der Versorgungsgebiete, wie wir es bei den einzelnen Versorgungstypen antreffen, sehr variable Anastomosenfelder und auch Versorgungsmangelbezirke entstehen läßt. Ebenfalls können sich zahlreiche Koronarvarianten, wie ein Ramus diagonalis oder eine zusätzliche dritte Kranzarterie, die Conusarterie, günstig kompensatorisch auswirken.

Als günstigste Voraussetzung für die Ausbildung interkoronarer Anastomosen wird der Normalversorgungstyp mit indifferenter Spitzenversorgung und gleichzeitigem Vorliegen einer Trifurkation der linken Kranzarterie angesehen (HOFFMANN et al. 1970). Bei einem sich hier entwickelnden Verschluß des Ramus descendens anterior bildet sich eine nicht zu große relative Ischämiezone aus wie beim Bifurkationstyp. Ein Verschluß des vorderen absteigenden Astes wirkt sich beim Linkstyp mit Bifurkation und weit auf die Facies diaphragmatica hinausreichenden Ramus descendens anterior, prognostisch am ungünstigsten aus.

Abb. 13



Trotz ausgebildetem Kollateralkreislauf finden wir in der Mehrzahl der Fälle bei chronischer Koronarinsuffizienz stets zahlreiche disseminierte Herzmuskelschwellen. Wir müssen annehmen, daß es sich beim Kollateralkreislauf meist nur um einen Notbehelf handelt. Die relative Koronarinsuffizienz bleibt bestehen, was sich klinisch oft in einer Angina pectoris äußert.

Anastomosen und Kollateralen bei VINEBERG-Operation.

Will man durch chirurgische Eingriffe eine zusätzliche Blutversorgung des Herzmuskels erreichen, so ist nur dann ein Erfolg zu erwarten, wenn das Blut in die relative Ischämiezone des Myocards eingeführt wird. Die lokale Koronarinsuffizienz in einem bestimmten Herzabschnitt ist der Anreiz zur Entfaltung von Anastomosen. Die Bahnung soll durch hydrodynamische Faktoren, besonders das Druckgefälle zum anämischen Gebiet, hervorgerufen werden.

Die mittelbare Koronarchirurgie umfaßte bisher folgende Eingriffe:

Die operative Behandlung der Koronarinsuffizienz konzentrierte sich lange Zeit auf mittelbare Eingriffe zur Verbesserung der Blutversorgung des Herzens.

Am Anfang stand die Pericardopexie, Pneumopericardopexie, die Aufsteppung von Hautlappen und Netz auf das Epi- und Myocard (WEDEL, STONE, NEUMANN und MORAN 1952, PLACHTA, THOMPSON und SPEER 1955, BECK 1957, BUCHWALDT 1959, VINEBERG 1970).

Die BECKsche Methode beruht auf einer Verbindung des Koronarsinus mit der Aorta und Sinusligatur zur Verbesserung der Koronardurchblutung. Sie ist mittlerweile wohl ganz verlassen.

Dann wurde die Implantation der Arteria mammaria interna oder ihre Unterbindung als Methode der Wahl vorgeschlagen (VINEBERG 1949, OBIDITSCH-MAYER, WENZL und WENSE 1955, VINEBERG 1964).

NACHLAS, MYERS, SOLOMON, KELLY und SELIGMAN (1958) gaben als Methode die Implantation einer Arteria carotis in das Myocard zur operativen Behandlung der Koronarinsuffizienz an.

Die theoretisch sicherlich beste Methode der unmittelbaren Koronarchirurgie, die operative Entfernung einer oder mehrerer Stenosen und, wenn notwendig mit Überbrückung durch eine Plastik, wurde von GOTTESMAN, LONGMIRE, CANNON und KATTUS (1958), ELLIS und COOLEY (1961), SENNING (1963) durchgeführt.

Weitere chirurgische Methoden zur Revaskularisation des Herzmuskels

- a. Direkte Rekonstruktion (aortocoronarer Bypass durch Interposition eines Vena-saphena-Transplantats).
- b. Transmyocardiale Akupunktur (Perforationen in der Ventrikelwand) WEARN zeigte 1933 die Existenz direkter Verbindungen zwischen dem Herzventrikel und den sinusoidalen Räumen des Myocards. Er hielt eine Blutversorgung des Myocards des linken Ventrikels durch diese Gefäße für möglich. Durch histologische Untersuchungen und Druckmessungen hat man jedoch festgestellt, daß diese Methode nicht möglich ist. Die Verbindungen werden durch das Myocard komprimiert und bleiben nicht durchgängig. Dies trifft auch für zusätzlich gebohrte Kanäle zu.
- c. Ähnliche Schwierigkeiten treten auch bei einer Myocardrevaskularisation durch eine Fistel zwischen dem linken Ventrikel und dem ischämischen Myocardbezirk auf.

Zur Zeit sind nur noch zwei Wege der Chirurgie der Herzkranzgefäße diskutabel

1. Die indirekte Vaskularisation, die schon von VINEBERG 1946 beschriebene Methode der Transplantation einer extrakoronaren Arterie (mammaria oder gastroepiploica) in den ischämischen Herzmuskel, mit folgender Indikation:

- a. Schwere Angina pectoris über 1 Jahr und Verschluß oder Stenosierung von über 90 % des Lumens des Ramus descendens der linken Arteria coronaria.
- b. Zustand 6 Monate nach Infarkt ohne angiographisch nachzuweisende Kollateralen.
- c. Vorliegen einer Dreifachkoronarerkrankung, davon ein Ast aber weniger als 75 % eingeengt.
- d. Elektrokardiographische Hinweise für eine Myocardischämie.

2. Die plastische direkte Rekonstruktion der Koronararterien mit Endarterektomie (BAILEY, LONGMIRE 1957, GOTTESMAN 1958 und SENNING 1959), mit folgender Indikation:

Nur bei Kranken mit Angina pectoris, die einen isolierten Verschluß im proximalen Bereich der rechten Koronararterie haben, der nicht durch dicke Kollateralen kompensiert ist, aber eine periphere Verzweigung aufweist.

Nach Untersuchungen von SCHLESINGER und ZOLL (1941) sind 69 % aller Koronarverschlüsse innerhalb der ersten 4 cm nach dem Abgang der Herzkranzgefäße aus der Aorta zu finden. Im peripheren Koronarsystem überwiegen disseminierte Verschlüsse.

Die intramyocardiale Implantation der Arteria mammaria interna hat sich als eine der wirksamsten Methoden der Herzvaskularisation in der Herzchirurgie erwiesen. In den letzten Jahren wurde bereits ein verhältnismäßig großes Krankengut mit klinischen Untersuchungsmethoden ausführlich bewertet (FAVALORO, EFFLER, GROVES und SONES 1967).

Das Prinzip der VINEBERG'schen Methode besteht darin, daß eine extrakoronare Arterie (z. B. die Arteria mammaria) in den ischämischen Herzmuskel eingepflanzt wird, diese nicht thrombosiert und über neugebildete Kollateralen Anschluß an das koronare Gefäßnetz gewinnt. Diese Kollateralbahnen zwischen der implantierten Arterie und den Koronararterien können angiographisch bereits nach wenigen Monaten nachgewiesen werden. Über die Tatsache, daß die eingepflanzte Arterie offen bleibt und nicht thrombosiert, ist man sich noch nicht einig. Manche Autoren machen die embryonal angelegten und erweiterungsfähigen sinusoidalen Räume und die bei normalen Herzen vorkommenden interkoronaren Anastomosen verantwortlich. Andere führen die rhythmische Kompression der Gefäße durch den Herzmuskel für die Blutfortbewegung als Ursache an.

VINEBERG konnte an zwei Fällen, 12 1/2 und 17 1/2 Jahre nach der Operation zeigen, daß die implantierte Arteria mammaria interna das einzig durchgängige Gefäß am Herzen war. Nach Autopsie wurde das Implantat mit

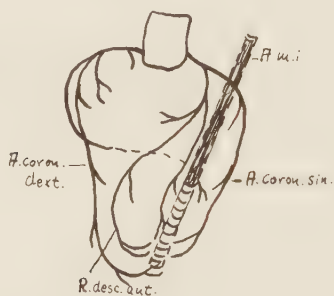
Injektionsmasse gefüllt. Der Hauptstamm der rechten und linken Kranzarterie war völlig obliteriert. Die Injektionsmasse drang retrograd bis zu den Verschlüssen vor. Daraus kann man schließen, daß die Arteria mammaria interna nicht nur mit der ihr am nächsten stehenden Koronararterie, sondern auch mit allen anderen Hauptästen Verbindungen geschaffen haben muß. Es ist gelungen über die Arteria mammaria interna das gesamte arterielle Gefäßsystem des Herzens aufzufüllen.

Die Nahtstellen der Endverzweigungsgebiete der 3 Koronaräste (Abb. 12, 25, 28, 38) müssen durch Anastomosen überbrückt worden sein und eine Kommunikation innerhalb des gesamten Gefäßsystems hergestellt haben. Die Übergänge zwischen den einzelnen Zonen herzustellen ist notwendig und kann durch chirurgische Maßnahmen geschehen.

Lange Zeit war man sich über die günstige Stelle der Mammariaimplantation im unklaren. Erst Autoren wie BAROLDI, VINEBERG u. a. haben durch Injektionsstudien zeigen können, daß in der Wand des linken Ventrikels Gebiete existieren, in denen jeweils alle 3 Koronararterien mit ihren Endverzweigungen eng in Berührung stehen. Diese Bezirke werden als Implantationsstellen bevorzugt.

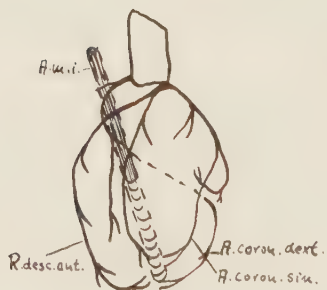
Schematische Darstellung der einzelnen Arterienzonen
(abgewandelt nach BAROLDI)

Abb. 14



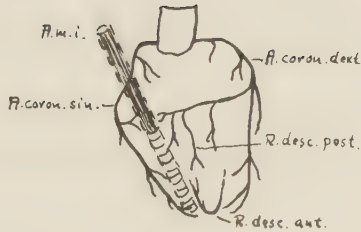
Zone an der Herzspitze (in 72 %)

Abb. 15



Zone in der antero-lateralen Wand
des linken Ventrikels (in 72 %)

Abb. 16



In der Hinterwand des linken
Ventrikels (in 84 %)

Voraussetzung für eine Kollateralentwicklung ist die myocardiale Ischämie. Diese Beobachtung machte VINEBERG in früheren Experimenten, als er die blutende Arteria mammaria interna in das nicht ischämische Myocard einpflanzte. Er fand bei seinen ersten Ergebnissen, daß nur etwa 20 % der verpflanzten Gefäße durchgängig blieben. Indem er allmählich eine Blutarmut des Myocards durch Anwendung von Ameroid-Vasokonstriktoren am Ramus circumflexus und Ramus descendens der linken Herzkranzarterie hervorrief und dann die Arteria mammaria in das Myocard des linken Ventrikels einführte, blieben 80 % der Gefäße durchgängig. Diese durchlässigen Blutgefäße verhinderten den Tod der Tiere, der gewöhnlich innerhalb eines Monats nach Anwendung der Vasokonstriktoren eintrat. Dies erklärt auch, warum bei einer Koronarstenose auf weniger als 50 - 90 % des Lumens die Kollateralent-

wicklung zwischen der eingepflanzten Arterie und dem Koronarkreislauf ausbleibt. Das Transplantat atrophiert dann auf die Dauer.

Darstellung von Anastomosen zwischen der Arteria mammaria und den Koronarästen.

- a. Durch Angiographie: Der objektive Nachweis einer operativen Revaskularisation erfolgt am sichersten mit der Angiographie. Mittels selektiver Darstellung der implantierten Arteria mammaria läßt sich sowohl deren Durchgängigkeit als auch intramurale Kollateralentwicklungen nachweisen. (Die Grenze dieser Darstellungsmethode liegt jedoch bei ca. 150 - 250 mü). 80 - 90 % haben eine offene Arteria mammaria. In 50 - 60 % finden sich angiographisch deutlich Kollateralen zwischen der Arteria mammaria und den Koronarverzweigungen (HEGEMANN, BACHMANN und DITTRICH 1969).
- b. Durch histologische Untersuchungen: Zu diesem Zweck wurde die Implantationsstelle und ihre Umgebung histologisch untersucht (OBIDITSCH-MAYER et al. 1954). Es wurde Material von Hunden 2 Tage, 14 Tage und 1 Jahr nach der Operation verwendet. Es konnte gezeigt werden, daß die in das Myocard implantierte und seitlich gelochte Arteria mammaria über neugebildete Gefäße, die in ihrer Wand reichlich epitheloide Zellen erkennen lassen, Anschluß an kleine Koronararterienäste findet. Die in kürzerer Zeit

nach der Operation untersuchten Fälle (2 Tage, 14 Tage) zeigen, daß die implantierte Arterie durch die Herzmuskelkraft komprimiert wird. Im Bereich der seitlichen Lochung entsteht ein kleines Hämatom. Durch die Organisation dieses Hämatoms dringt Granulationsgewebe auch in die Lichtung der Arteria mammaria im Bereich der seitlichen Lochung ein. Dieses Granulationsgewebe wird allmählich in Schwielengewebe umgewandelt. Im proximalen Anteil der seitlichen Lochung durchqueren Gefäße vom Charakter der Riesenkapillaren das Schwielengewebe, das die durchtrennten Ränder der Gefäßwand verbindet. Im distalen Anteil wird es von dickwandigen Gefäßen durchquert. Diese finden zumeist über kleine Seitenäste, die glomerulusähnlich angeordnet sein, Anschluß an Koronararterienäste. Die im Röntgenbild sichtbaren Gefäße, über welche es zur Füllung des Koronarsystems kommt, entsprechen diesen englumigen, dickwandigen Gefäßen.

Durch Farbstoffinjektion konnte von oben genannten Autoren ebenfalls eine Verbindung der implantierten Mammaria interna mit dem Koronararteriensystem nachgewiesen werden. Der in den Ramus descendens der linken Kranzarterie injizierte Farbstoff fand sich in der Arteria mammaria.

TEMES et al. (1970) benutzten zum röntgenologisch und histologischen Nachweis der interkoronaren und der Implantat-Koronarien-Anastomosen zweierlei

Kontrastmittel mit unterschiedlicher Partikelgröße und Darstellungsintensität. Mit der Bariummischung (große Partikel) wurde der Mammariastumpf zur Demonstration der Implantat-Ramus descendens-Verbindung dargestellt. Danach wurde mit der Miniummischung (kleine Partikel) der Ramus circumflexus zum Nachweis interkoronarer Kollateralen injiziert. Beide Mischungen konnten mikroskopisch einwandfrei auch in derselben Arterie gemischt vorkommend gefunden werden.

- c. Durch Ausgußmasse: Ein Nachweis von Kollateralen, ihr Ausmaß und ihre Kapazität im korrosionsanatomischen Präparat ist besonders beweiskräftig. Untersuchungen von SCHMIDT und SCHMIER (1964) an mehr als 20 normalen Hundeherzen haben gezeigt, daß es nicht möglich ist, einen verschlossenen Koronarast mit Araldit retrograd zu füllen. Wird während der Injektion des Kunstharzes experimentell ein Koronarast verschlossen, so bleibt das abhängige Gefäßgebiet ungefüllt. Im korrodierten Gefäßsystem wird der Infarktbereich durch einen Füllungsdefekt gekennzeichnet. Dies entspricht der Erfahrung, daß voll funktionstüchtige Koronarkollateralen beim Hund in der Regel nicht in ausreichendem Maße vorhanden sind. Wird jedoch am lebenden Tier im akuten Experiment durch Ligatur ein künstlicher Infarkt gesetzt und gleichzeitig in dieses Gebiet eine extrakoronare Arterie (mammaria) eingepflanzt,

so ist durch Entwicklung von Kollateralbahnen die Blutzufuhr zum Infarktgebiet vollwertig gesichert.

Mit Korrosionspräparaten kann man direkt die implantierte Arterie und den versorgten Herzbe- reich als fixierten Gefäßbaum darstellen.

Wir setzten bei einem Hund einen experimentellen Herzinfarkt durch Unterbindung des Ramus descendens anterior und pflanzten die Arteria mammaria interna in das Versorgungsgebiet dieser verschlossenen Arterie. Nach einer Überlebenszeit von 2 Jahren stellten wir ein zweifarbiges Korrosionspräparat her. Von der Aorta her wurde mit roter Farbmasse gefüllt, der Mammariastumpf mit schwarzer injiziert.

Bei der Präparation ist darauf zu achten, daß die Arteria mammaria lang genug gelassen wird, um beim Einbinden der Injektionsspritze und während des Füllungsvorganges genügend Spielraum zu haben und Verletzungen des Transplantats zu vermeiden. Ein Durchspülen der Mammaria interna mit Ringerlösung ist ratsam. Es läßt sich somit durch Absinken des Flüssigkeitsspiegels in der Spritze ohne Anwendung von Druck sofort prüfen, ob die Arterie durchgängig ist. Die retrograde Füllung des ligierten Koronar- stammes ist schon makroskopisch an oberflächlich unter dem Epicard liegenden Gefäßen während der In- jektion zu erkennen. Die Füllungsdauer ist etwas

länger zu wählen, um eine möglichst vollständige Darstellung auch kleiner Gefäße im Verschlußbereich zu erreichen. Der Druck kann dann entsprechend niedriger (ca. 100 mm Hg) sein. Die Ligatur des Ramus descendens anterior ist am Abbruch der Kunststoffmasse erkennbar.

Diese retrograde Füllung eines Verschlußgebietes über die Arteria mannaria und über funktionstüchtige Kollateralbahnen zwischen dieser und dem Myocard ist mit dem Kunstharz Araldit D möglich. Andere Aralditformen, ebenso wie Plastoid sind für diesen Zweck zu viskös. Araldit D ist in seiner Zähigkeit so beschaffen, daß eine retrograde Füllung über Kollateralen praktisch immer zur Darstellung führt. Wie bedauern, daß uns zu diesen Untersuchungen nur ein Operationspräparat zur Verfügung stand. Zwei Hunde bekamen sofort nach Unterbindung des Ramus descendens anterior Kammerflimmern.

Lange Zeit ist schon bekannt, daß eine in das linke Ventrikelmyocard injizierte Blutmenge, ohne Bildung eines Hämatoms, sofort in die Koronarvenen abfließt. Neuere Untersuchungen zeigen, daß 81 % dieses Blutes aus dem Koronarsinus wiedergewonnen werden kann. Dies beweist, daß das injizierte Blut ein gewisses Abflußgebiet besitzt, das abhängig ist von der Kontraktion des Myocards, dem intramyokardiellen Druck und der Kreuzungsversorgungsgebiete der Blutgefäße, die noch

Blut aufnehmen können. Diese Vorstellungen wurden von VINEBERG in einem Schaubild schematisch gezeichnet. Er stellte die frei blutende Mammaria interna in einem Myocardtunnel dar (Abb. 17). Dieser Tunnel, oder besser dieser erweiterte Sinusoid, tritt mit anderen Sinusoiden im Myocard in Verbindung, die ihrerseits wiederum mit Venolen, Arteriolen, Kapillaren und dem Lumen des Ventrikels kommunizieren. Diese Sinusoide stellen ein Abflußgebiet dar, das für eine zusätzliche Menge Blut aufnahmefähig ist und dem Blut ermöglicht, in das eingepflanzte Gefäß zu fließen. Dadurch bleibt die Arterie durchgängig, bis größere Anastomosen zwischen der Arteria mammaria und den Koronararterien hergestellt sind. Es kann vermutet werden, daß die Durchlässigkeitsrate und der Durchfluß durch das implantierte Gefäß in direkter Beziehung zum Durchmesser des Tunnels und der Größe des zur Blutaufnahme zur Verfügung stehenden Gebietes besteht. Diese Vorstellung ist überprüft und in der peripheren Gefäßchirurgie viele Male bewiesen worden. Revaskularisationsprozesse in den unteren Extremitäten verlaufen zufriedenstellend, wenn noch eine normale Anzahl von Gefäßen da ist, die durch Krankheit relativ wenig befallen sind, um noch Blut aufzunehmen. Wenn aber andererseits das zur Verfügung stehende Abflußgebiet sehr klein ist, wie z. B. bei ausgedehnten Durchblutungsstörungen, ist die Versagerquote sehr hoch.

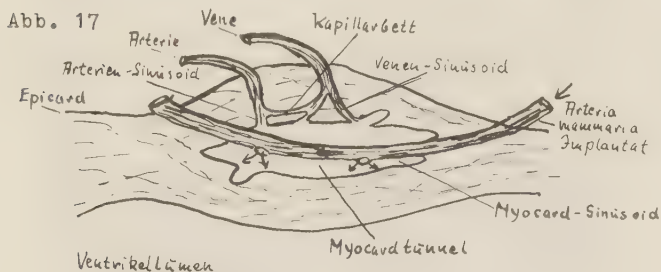
Um das Flußverteilungsmuster bei der Zuführung von

Blut auf intramyocardialem Weg in weitergehenden Experimenten zu ermitteln, injizierten SMITH et al. (1968) eine Mischung, die zur Hälfte aus Kaninchenblut und zur anderen Hälfte aus 75 %iger Hypaque-Lösung bestand, direkt in das linke Ventrikelmyocard, und führten dann röntgenographische Beobachtungen durch. Eine Injektion in den mittleren Anteil des linken Ventrikels zeigte eine sofortige Verteilung des Kontrastmittels über das gesamte linke Ventrikelmyocard, sowohl vorne als auch hinten, und den gleichzeitigen Abfluß des Kontrastmittels in den Koronarsinus. Dies wurde durch India-Tinte-Injektion erhärtet. Das Kontrastmittel wurde innerhalb 5 Minuten nach der Injektion vollständig resorbiert.

Einzelbilder während der Injektion zeigten eine röntgenologische Kontrastmittelfüllung der Koronarvenen über dem gesamten linken Ventrikel. Die Injektion unter Druck hat ein großes sinusoidähnliches Bett eröffnet, das Blut aufnehmen und für die Absorption in das venöse System des Herzens sorgen konnte. Wird eine Arterie in dieses breite sinusoidähnliche Bett placiert, dann wird ein großes Areal für die Aufnahme von Blut zur Verfügung stehen.

Es entwickelt sich in wenigen Monaten ein angiographisch nachweisbares reiches Anastomosennetz zwischen dem jetzt gut zugänglichen arteriellen Hochdruckgebiet der Arteria mammaria und dem ischämischen Niederdruckgebiet des Herzmuskels.

Abb. 17 zeigt schematisch die Verhältnisse der koronaren Zirkulation im Myocard und die Entstehung eines Kollateralkreislaufes nach Implantation der Arteria mammaria. (abgewandelt nach VINEBERG).



Endothelbekleidete Sinusoide dienen venösem Kapillarabstrom und leiten Blut ab aus implantierter Arteria mammaria interna.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Arteria mammaria tief in das Myocard implantiert werden muß, wenn sie offen bleiben soll. Hier finden sich die günstigsten Druckverhältnisse und das reichste Arteriolen-system für die Revaskularisation.

<u>Tiefe</u>	<u>Hunde</u>	<u>Anastomosen</u>
äußeres Drittel	7	28,6 %
mittleres Drittel	14	64,4 %
inneres Drittel	2	100 %

Die Anastomosenbildung ist bei Implantation in das innere Drittel des Myocards am günstigsten (nach VINEBERG).

Abb. 18



Koronararteriendarstellung mit Araldit-Kunstharz durch ein Korrosionspräparat bei einem Hund 2 Jahre nach experimentellem Myocardinfarkt (Ligatur des R. desc. ant.) und anschließende Revaskularisation durch eine implantierte Arteria mammaria. Retrograde Füllung des proximalen Ramus descendens anterior nur über die Arteria mammaria interna.

Abb. 19

Korrosionspräparat:
 (Hund) Ausschnitt.
 Ramus desc. ant. und
 Art. mammaria interna
 (schwarz). Deutlich
 ausgeprägte Anastomo-
 sen zwischen beiden
 Gefäßen.

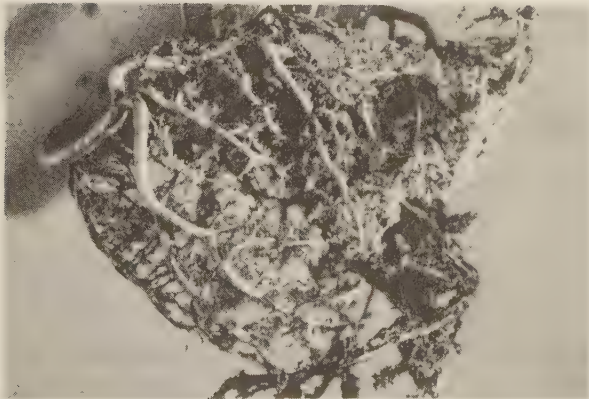


Abb. 20

Korrosionspräparat: (Hund) Herzhinterwand. Umbiegen
 des Ramus desc. ant. nach dorsal (schwarz). Vollstän-
 dige Füllung desselben über die Arteria mammaria interna.



Abb. 21

Angiographischer Nachweis (Röntgenaufnahme).

Implantierte Arteria mammaria interna füllt retro-
grad den Ramus descendens anterior (nach DITTRICH).

VI. Zusammenfassung der Ergebnisse

Es werden zwei Methoden zur Herstellung des Herzgefäßbaumes mit dem technischen Kunstharz Araldit mitgeteilt, die Korrosions- und die Aufhellungsmethode. Beide Techniken werden im einzelnen beschrieben und gegenübergestellt (Material: Menschen- und Hundeherzen). Von der zur Zeit zur Verfügung stehenden technischen Gießharzen glauben wir, in Araldit (D) einen Stoff gefunden zu haben, der für die anspruchsvolle Gefäßdarstellung am Herzen durchaus geeignet ist. Die Präparate sind mechanisch widerstandsfähig und zur langen Aufbewahrung geeignet.

Mit verschiedenen Drucken läßt sich je nach Bedarf ein Gefäßskelett entweder nur der Hauptäste oder bis in die feinsten Gefäße erzielen. Man erreicht eine Darstellung bis zu einer Stärke von ca. 80 μ , die bei einer Angiographie nicht mehr erkennbar ist. Die Kaliberstärke der Gefäße wird mit der Mikrometerschraube gemessen.

Durch den abschließenden Mazerationsvorgang kommt es immer wieder vor, daß feinste Ästchen wie Anastomosen- und Kollateralkreisläufe, beschädigt, oder abgerissen werden. Auch die fehlende Topographie macht eine nachträgliche Beurteilung des Gefäßsystems oft schwer. Um diese Nachteile möglichst auszuschalten, bedienen wir uns eines weiteren Verfahrens, der Gewebeaufhellungstechnik nach SPALTEHOLZ. Durch diese Methode gelingt es, das Herzmuskelgewebe zu erhalten und bis

zu einer Tiefe von über 1 cm durchsichtig zu machen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die beiden Koronar-
äste verschiedenfarbig darzustellen.

Mit Araldit ist es möglich, funktionstüchtige inter-
koronare Anastomosen zu lokalisieren. Wird bei hohem
Verschluß eines Koronarastes am lebenden Tier die Herz-
funktion praktisch nicht beeinträchtigt, d. h. ist die
Blutversorgung des Infarktgebietes über Kollateralen
gewährleistet, so läßt sich dieses Gebiet auch post-
mortal mit Araldit füllen. Es gelang uns die Koronar-
arteriendarstellung durch ein Korrosionspräparat bei
einen Hund 2 Jahre nach experimentellem Myocardinfarkt
zu demonstrieren. Durch Ligatur des Ramus descendens
anterior und anschließende Revaskularisation durch eine
implantierte Arteria mammaria (VINEBERG-Operation)
füllt sich der proximale Ramus descendens retrograd
nur über die Arteria mammaria interna.

Da uns zu diesen Versuchen nur ein Operationspräparat
zur Verfügung stand, war es nicht möglich, ein Auf-
hellungspräparat herzustellen. Das Ergebnis der post-
mortalen Aralditfüllung stimmt mit dem funktionellen
Ergebnis des akuten experimentellen Koronarverschlus-
ses überein. Es läßt sich deshalb auch allein durch die
korrosionsanatomische Darstellung des Koronarsystems
mit Araldit beurteilen, ob ein Herz über funktions-
tüchtige Koronarkollateralen verfügt.

Im einzelnen wird weiter über die verschiedenen Mög-
lichkeiten der Gefäßauffüllung, die Anatomie der Herz-
kranzgefäße, ihre Nomenklatur, Versorgungstypen und
Koronarvarianten gesprochen.

VII. Photographien

Abb. 22

Korrosionspräparat: Linke Koronarie mit Ramus descendens anterior und Ramus circumflexus. Aufteilung des circumflexus in 3 starke, geschlängelte Äste. Trifurkationstyp mit einem Ramus diagonalis. Vena cordis magna, Vena marginalis sinister, Sinus coronarius.

Abb. 23

Aufhellungspräparat: Rechte und linke Kranzarterie, dazwischen stark vaskularisierter Conus pulmonalis.

Abb. 24

Aufhellungspräparat: Rechte Koronararterie. Starke Vaskularisation des Myocards des rechten Ventrikels und des Conus pulmonalis bis hinüber zum Ramus descendens anterior der linken Kranzarterie. Rechtwinkliger Abgang kleiner Äste aus den subendocardial gelegenen Hauptästen zur Versorgung des Myocards.

Abb. 25

Aufhellungspräparat: Herzhinterwand. Ramus descendens posterior der rechten Kranzarterie (3-Arterien-Zone der Hinterwand des linken Ventrikels).

Abb. 22

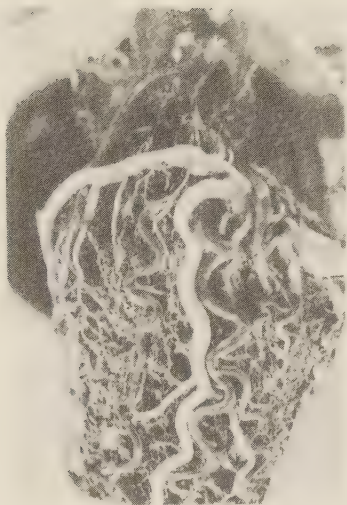


Abb. 23

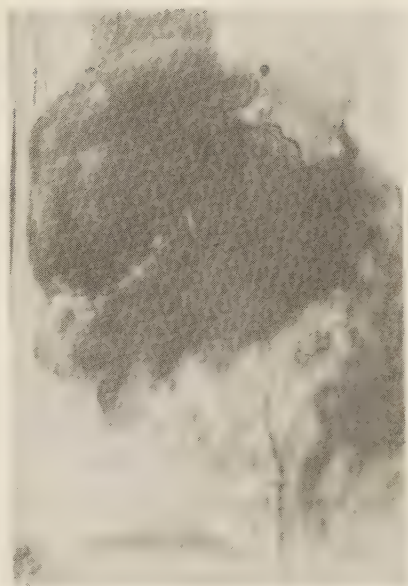


Abb. 24



Abb. 25

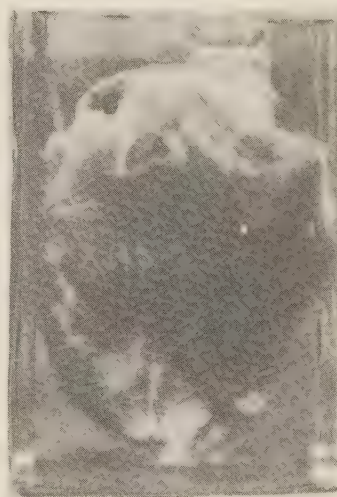


Abb. 26

Korrosionspräparat: (Hund) Schwach ausgeprägte rechte Kranzarterie. Ramus descendens posterior wird von der linken Kranzarterie gebildet. Vena cordis magna, Vena marginalis sinistra, Vena cordis media, Vena posterior ventriculi, Vena cordis parva. Sinus coronarius.

Abb. 27

Korrosionspräparat: Ramus descendens anterior und Vena cordis magna. Weittlumige Septumäste. Umbiegen des Ramus descendens anterior nach dorsal. Anastomose mit einem Septumast im distalen Drittel. (Selektive Füllung nur der linken Kranzarterie)

Abb. 28

Aufhellungspräparat: Feine Anastomosen zwischen Ästen der rechten und linken Kranzarterie sowie am Conus pulmonalis (3-Arterien-Zone an der Herzspitze).

Abb. 29

Korrosionspräparat: Herz eines 75jährigen Mannes mit hochgradiger allgemeiner Koronarsklerose und hochgradiger Linksherzhypertrophie (Herzgewicht 650 g). Multiple Stenosierungen im gesamten Gefäßsystem.

Abb. 26



Abb. 27



Abb. 28



Abb. 29

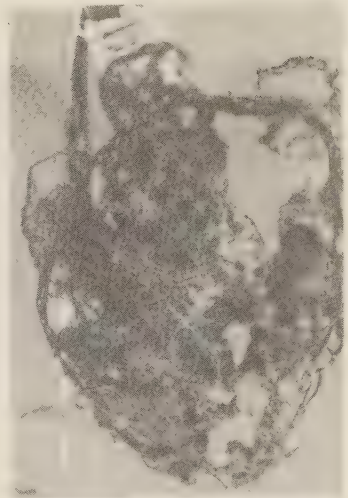


Abb. 30

Korrosionspräparat: Siehe Abb. 29. Ramus descendens anterior und Ramus circumflexus der linken Kranzarterie. Beide Äste bilden einen Winkel von ca. 120° (Linksherzhypertrophie).

Abb. 31

Korrosionspräparat: Anastomosen zwischen Ästen der rechten Kranzarterie.

Abb. 32

Korrosionspräparat: Hochgradig stenosierter Ramus descendens anterior mit praestenotischer Dilatation. Korkenzieherähnliche Kollaterale in der Peripherie des Ramus descendens anterior.

Abb. 33

Korrosionspräparat: Weitlumige Septumanastomose (ca. 200 μ) zwischen Ramus descendens anterior und posterior. Ebenfalls Venenanastomose parallel dazu (Ausschnitt nahe der Herzspitze).

Abb. 30

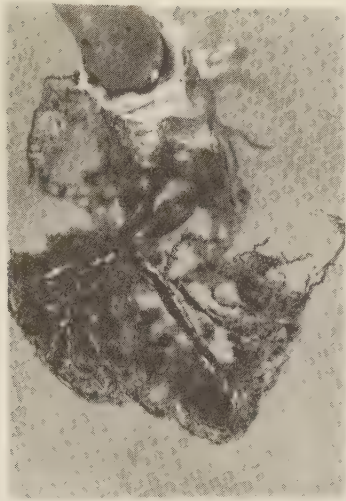


Abb. 31

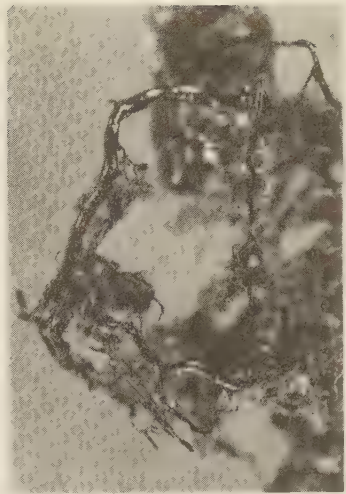


Abb. 32



Abb. 33

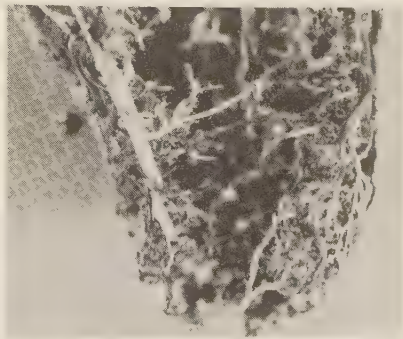


Abb. 34

Korrosionspräparat: (Hund) Getrennter Ursprung des Ramus descendens anterior und Ramus circumflexus der linken Kranzarterie aus der Aorta.

Abb. 35

Korrosionspräparat: (Hund) Der Ramus circumflexus der linken Kranzarterie teilt sich in zwei parallel verlaufende Äste auf.

Abb. 36

Korrosionspräparat: Venenanastomosen zwischen der Vena marginalis sinistra und Vena cordis media.

Abb. 37

Korrosionspräparat: (Hund) Arterielle und venöse Anastomosen im Herzspitzenbereich.

Abb. 34

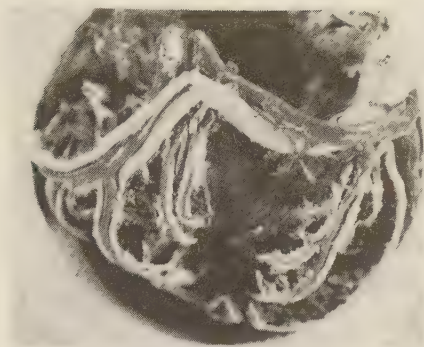


Abb. 35



Abb. 36

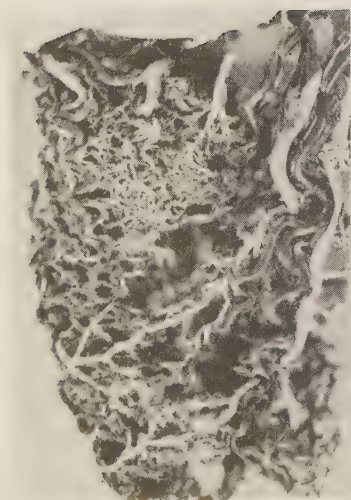


Abb. 37

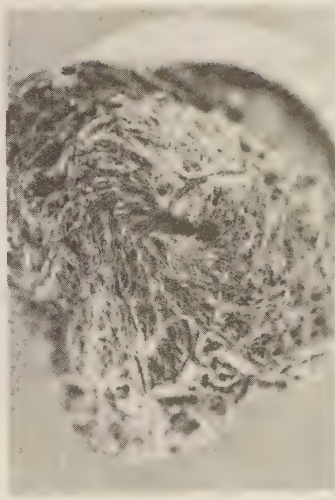


Abb. 38

Korrosionspräparat: (Hund) Ramus descendens anterior (rot), Ramus descendens posterior (weiß) der linken Kranzarterie. Anastomosen zwischen den beiden Ästen des Ramus diagonalis und Seitenästen des Ramus descendens anterior (gelb)(3-Arterien-Zone im antero-lateralen Bereich des linken Ventrikels).

Abb. 39

Zweifarbiges Aufhellungspräparat: Rechte Kranzarterie (gelb/grün), linke Kranzarterie (rot). Von oben gesehen, Anastomose zwischen rechter und linker Kranzarterie. Die beiden Farbstoffe treffen sich in der Anastomose.

Abb. 40

Aufhellungspräparat: Schnitt durch das Septum. Septumvaskularisation. Dicke Septumäste vom Ramus descendens anterior, dünne vom Ramus descendens posterior ausgehend (siehe Abb. 27).

Abb. 38



Abb. 39

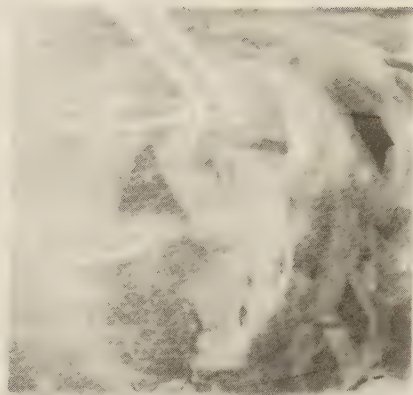
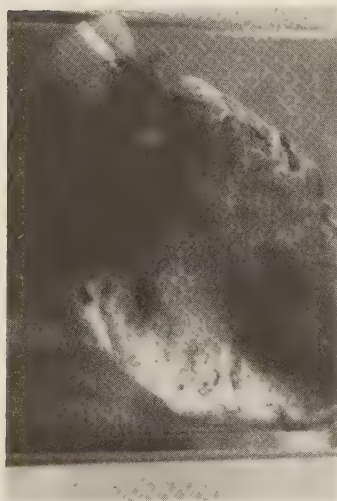


Abb. 40



VIII. Literaturverzeichnis

1. AMENOMIYA, A.: Über Beziehungen zwischen Koronararterien und Papillarmuskeln im Herzen.
Virchows Arch. path. Anat. 199: 187 (1910)
2. AMON, H.: Untersuchungen am 100 Coronarsklerotiker-Herzen über Lokalisation und Ausprägung der sklerotischen Arterienveränderungen.
Verh. Dtsch. Ges. Path. 41. Tg.: 131 (1958)
3. BARMEYER, J.: Technik der postmortalen Koronangiographie.
Beitr. Path. Bd. 141: 91 (1970)
4. BAROLDI, G., u. G. SCOMAZZONI: Coronarsklerose und Myocardschäden.
Verh. Dtsch. Ges. Path. 41. Tg.: 138 (1958)
5. BENNINGHOFF, A.: Das Herz. In: Hdb. der vergleichenden Anatomie 6: 468
Urban und Schwarzenberg, Berlin und Wien (1933)
6. BLUMGART, H.L., P.M. ZOLL, A.S. FREEDBERG und D.R. GILLIGAN: The experimental production of intercoronary arterial anastomoses and their functional significance.
Circulation 1: 10 (1950)

7. CARLSON, R.G., R.F. EDLICH, A.J. LANDE, R.C. LILLEHEI and C.W. LILLEHEI: Prevention of intravascular thrombosis by an artificial myocardial tunnel.
J. thorac. cardiovasc. Surg. 58: 614 (1969)
8. COHNHEIM, J., u. V. SCHULTHESS-RECHBERG: Über die Folgen der Kranzarterienverschießung für das Herz.
Virchows Arch. path. Anat. 85: 503 (1881)
9. CRAINICIANU, Al.: Anatomische Studien über die Koronararterien und experimentelle Untersuchungen über ihre Durchgängigkeit.
Virchows Arch. path. Anat. 238: 1 (1922)
10. ELZE, C.: Alte anatomische Abbildungen der Kollateralbahnen nach Verschuß oder Unterbindung großer Arterienstämme.
Chirurg 28: 433 (1957)
11. FAVALORO, R.G.: Saphenous vein graft in the surgical treatment of coronary artery disease.
J. thorac. cardiovasc. Surg. 58: 178 (1969)
12. FAVALORO, R.G., D.B. EFFLER, L.K. GROVES, and F.M. SONES: Myocardial revascularization by internal mammary artery implant procedures.
J. thorac. cardiovasc. Surg. 54: 359 (1967)
13. FRIEDBERG, Ch.K.: Erkrankungen des Herzens.
Stuttgart: Thieme (1959)

14. HACKENSELLNER, H.A.: Koronaranomalien unter
1000 auslesefrei untersuchten Herzen.
Anat. Anz. 101: 123 (1954/55)
15. HEBERER, G., G. RAU, H.H. LÖHR: Aorta und große
Arterien.
Springer, Berlin (1966)
16. HEGEMANN, G., K. BACHMANN und H. DITTRICH:
Die Revaskularisation des Myocards bei koronarer
Herzkrankheit.
Dtsch. med. Wschr. 38: 1903 (1969)
17. HOFFMANN, E., B. KISSELER, Ch. GEBHARDT und
K.H. BUYSCH: Verteilungsmuster der Koronargefäße
und Darstellung der Versorgungsareale der großen
Koronargefäßstämme.
Arch. Kreislaufforschg. 62: 91 (1970)
18. JAMIN, F. und H. MERKEL: Die Koronararterien des
menschlichen Herzens unter normalen und patholo-
gischen Verhältnissen.
Jena: Fischer (1907)
19. KAUNITZ, P. E.: Origin of Left Coronary Artery
from Pulmonary Artery.
Amer. Heart J. 182 (1947)

20. MUNRO, I. and P. ALLEN: The possibility of myocardial revascularization by creation of a left ventriculocoronary artery fistula.
J. thorac. cardiovasc. Surg. 58: 25 (1969)
21. MÜLLER, E.: Pathologische Anatomie des Koronarkreislaufes.
Nauheimer Fortbildungslehrgänge Bd. 27: 16.
Darmstadt: Dr. Dietrich Steinkopff (1962)
22. MÜLLER-MOHNSEN, H.: Die Topographie der Septumarterien im menschlichen Herzen und ihre Bedeutung für die Entstehung von Kollateralkreisläufen bei Koronarsklerose.
Beitr. path. Anat. 118: 121 (1957)
23. NUSSBAUM, A.: Über das Gefäßsystem des Herzens.
Arch. f. mikroskop. Anat. Bd. 80 I: 450 (1912)
24. OBIDITSCH-MAYER, J., M. WENZL und G. WENSE: Zur Revaskularisation des Herzmuskels. Tierexperimentelle und histologische Untersuchungsergebnisse nach Implantation der Arteria mammaria interna.
Langenbecks Arch. u. Dtsch. Z. Chir., Bd. 280: 143 (1955)
25. PAULIN, S.: Koronarangiographische Befunde beim Myocardinfarkt. In: Pathogenetische Faktoren des Myocardinfarkts, Symposia Medica Hoechst, S. 87, Schattauer Verlag Stuttgart - New York, Mai 1968.

26. PETROVITS, L., und Z. SZABO: Die Technik der Gummiinjektion.
Anat. Anz. 89: 34 (1939)

27. PIFARRÉ, R., M.L. JASUJA, R.D. LYNCH and W.E. NEVILLE: Myocardial revascularization by transmyocardial acupuncture.
J. thorac. cardiovasc. Surg. 58: 424 (1969)

28. ROSSI, N. und F. DORDI: Zum Beweis von Anastomosen zwischen den Herzkranzschlagadern.
Verh. Dtsch. Ges. Path. 35. Tg., S. 195 (1952)

29. SCHLESINGER, M. J., und F.M. ZOLL: Incidence and Localization of Coronary Artery Occlusion.
Arch. path. 32: 170 (1941)

30. SCHLESINGER, M.J., F.M. ZOLL und S. WESSLER: The conus artery: a third coronary artery.
Amer. Heart J. 38: 823 (1949)

31. SCHMIDT, H.D., und J. SCHMIER: Eine Methode zur Herstellung anatomischer Korrosionspräparate, dargestellt am Koronargefäßsystem des Hundes.
Z. f. Kreislaufforschg. 55: 297 (1965)

32. SCHOENMACKERS, J.: Über die Herzkranzschlagader-Anastomosen und ihre Darstellung.
Verh. Dtsch. Ges. Path. 32: 402 (1948)

33. SCHOENMACKERS, J.: Das Koronargefäßbild, seine Technik, Anwendung und Auswertung.
Med. Klin. 32: 1009 (1949)
34. SCHOENMACKERS, J.: Das Venenbild des Herzens.
Z. f. Kreislaufforschg. 39: 68 (1949)
35. SCHOENMACKERS, J.: Technik der postmortalen Angiographie mit Berücksichtigung verwandter Methoden postmortaler Gefäßdarstellung.
Erg. Path. 39: 53 (1960)
36. SCHOENMACKERS, J.: Zur normalen Anatomie und Verteilung der Koronargefäße.
Nauheimer Fortbildungslehrgänge Bd. 27: 1.
Darmstadt: Dr. Dietrich Steinkopff (1962)
37. SCHOENMACKERS, J.: Koronararterien - Herzinfarkt, in: Das Herz.
Stuttgart: Thieme (1963)
38. SCHOENMACKERS, J.: Die Blutversorgung des Herzmuskels und ihre Störungen. In: E. Kaufmann und M. Staemmler, Lehrbuch der spez. path. Anatomie, I, 1. Hälfte, Erg. Bd.: 59. Berlin (1969)
39. SCHOOP, W.: Angiologiefibel.
Stuttgart: Thieme (1964)

40. SCHUMMER, A.: Ein neues Mittel, Plastoid, und Verfahren zur Herstellung korrosions-anatomischer Präparate.
Anat. Anz. 81: 177 (1935)
41. SCHUMMER, A.: Vereinfachtes Plastoid-Korrosionsverfahren.
Anat. Anz. 98: 1 (1951)
42. SIEGENTHALER, W.: Klinische Pathophysiologie.
Stuttgart: Thieme (1970)
43. SMITH, P.E., K. MOBIN-UDDIN, C.R. LOMBARDO, L.O. MARTINEZ and J.R. JUDE: Implantation of the internal mammary artery. Current concepts and description of an new method.
J. thorac. cardiovasc. Surg. 55: 127 (1968)
44. SPALTEHOLZ, W.: Über das Durchsichtigmachen von menschlichem und tierischem Material.
Leipzig (1911)
45. TEMES, Gy., TOTH und B. TÖRÖK: Strukturelle Veränderungen der ins Myocard implantierte Arteria mammaria interna.
Z. f. experimentelle Chir. 3, Heft 1: 2 (1970)
46. VINEBERG, A.M.: Development of anastomosis between coronary vessels and transplanted internal mammary artery.
Canad. med. Assoc. J. 55: 117 (1946)

47. VINEBERG, A.M.: Experimental Background of Myocardial Revascularization by Internal Mammary Artery Implantation and Supplementary Technics, with its Clinical Application in 125 Patients. Ann. Surg. 159: 185 (1964)
48. VINEBERG, A.M., and D. MILLER: Functional evaluation of an internal mammary coronary anastomosis. Amer. Heart. J. 45: 873 (1953)
49. VINEBERG, A.M.: Revascularization of the entire heart through myocardial arteriolar networks. J. card. vasc. Surg. 11: 168 (1970)
50. VINEBERG, A.M.: Coronary Vascular Anastomoses by Internal Mammary Artery Implantation. Canad. med. Assoc. J. 78: 871, June 1st (1958)

Herrn Professor Dr. med. G. Hegemann möchte ich
für die freundliche Überlassung des Themas danken.

Herrn Priv. Doz. Dr. med. H. Dittrich danke ich für
die freundliche Unterstützung bei der Abfassung der
vorliegenden Arbeit.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Professor Dr. med.
G. Pließ vom Pathologischen Institut Nürnberg für
das überlassene Versuchsmaterial.

IX. Lebenslauf

Am 16. Juni 1942 wurde ich, Hans Otto Mittelmeier, als zweiter Sohn des Dipl.-Landwirts Walter Mittelmeier und seiner Ehefrau Ruth, geb. Eitel, in Stuttgart geboren. Meine Kindheit verbrachte ich bei meinen Großeltern, Pfarrer Wilhelm Mittelmeier und dessen Ehefrau Wilhelmine, in Weipertshofen, Kreis Crailsheim, da ich meine Familie während des Krieges verloren habe. Von 1948 bis 1952 besuchte ich die Volksschule in Weipertshofen. Nach Pensionierung meines Großvaters nahm mich die Schwester meines Vaters, Frau Lore Groß und ihr Ehemann, Fritz Groß, zu sich nach Reutlingen. Hier besuchte ich noch 1 Jahr die Volksschule. Von 1953 bis 1963 besuchte ich das Johannes-Kepler-Gymnasium in Reutlingen, wo ich am 5. März 1963 mein Abitur ablegte.

Im Mai 1963 nahm ich mein Studium der Medizin an der Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen - Nürnberg auf. Am 5. Mai 1964 legte ich das Vorphysikum und am 25. Oktober 1966, das Physikum ab. Nach Abschluß meines Studiums durch die ärztliche Prüfung am 6. Februar 1970, war ich bis November 1970 als Medizinalassistent am Pathologischen Institut bei Herrn Prof. Dr. med. G. Pließ in Nürnberg beschäftigt. Danach ging ich an das Chirurgische Kreiskrankenhaus Bad Mergentheim von Herrn Priv.-Doz. Dr. med. H. Schaudig. Im September 1971 beendete ich meine Medizinalassistenten-Zeit an der 3. Medizinischen Klinik an den Städtischen Krankenanstalten Nürnberg, bei Herrn Prof. Dr. med. H. Kleinfelder.

Hans Otto Mittelmeier

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990
